



Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade de Lisboa



Influência de um fogo florestal na qualidade da água da Ribeira de São Domingos localizada na Região Oeste de Portugal

Bruno Miguel do Carmo Santana Meneses

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do
Ambiente

Engenharia do Ambiente

Orientador: Prof. Doutor, Nuno Renato da Silva Cortez

Júri:

Presidente: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor Nuno Renato da Silva Cortez, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa; Doutora Cláudia Saramago de Carvalho Marques dos Santos Cordovil, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Lisboa, 2013

AGRADECIMENTOS

Começo por agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Nuno Cortez, pela sua extrema dedicação, partilha de saberes e encorajamento, sem o qual não seria possível apresentar os resultados obtidos. O seu interesse demonstrado desde o primeiro contacto incentivou-me ainda mais a prosseguir com esta investigação. Agradeço todos os contatos efetuados com os vários responsáveis dos diversos laboratórios do ISA-UTL, para a realização das análises às amostras de água colhidas em campo. Agradeço ainda todas as suas sugestões, ajuda na interpretação dos resultados e correção do trabalho final.

Aos técnicos do Laboratório de Solos do Departamento dos Recursos Naturais, Ambiente e Território do ISA-UTL, nomeadamente Ana Maria, Maria João e Isabel, agradeço as excelentes explicações sobre as diversas metodologias de análise da água e a ajuda na aplicação das mesmas, com a respetiva interpretação de resultados.

Ao meu amigo Luís Miguel Faria, companheiro de grandes jornadas e conquistas académicas, cabe um grande agradecimento, pelo seu incentivo na minha progressão académica, da qual resultou o meu enriquecimento curricular. Agradeço também a leitura atenta da presente dissertação, sugestões e correções.

À Rita Azevedo agradeço a ajuda multidisciplinar sobre os diversos assuntos abordados durante o percurso desta graduação e a sua disponibilidade para a tradução de alguns textos.

À Rute Ferreira agradeço a sua disponibilidade para a leitura desta dissertação e ao Tiago Alves a impressão dos vários exemplares da mesma.

À minha família, principalmente a mais próxima, agradeço o orgulho por vós demonstrado na minha pessoa. O que tenho feito deve-se também a vocês, pois a vossa ajuda nos tempos mais difíceis foi fundamental para ultrapassar os diversos obstáculos que foram surgindo.

Aos meus amigos, fica aqui o reconhecimento do vosso incentivo à conclusão do mestrado em que se insere esta investigação e dos vossos elogios que alimentaram a minha autoestima nesta longa caminhada. Embora de forma indireta, foram vocês que me ajudaram no meu enriquecimento curricular. Muito obrigado a todos.

A ti, Mara Rocha, cabe um agradecimento especial, não só por me ajudares na correção desta dissertação, mas por me proporcionares a oportunidade de concluir esta e outras etapas com sucesso. Sei que a minha ausência se sentiu ao longo deste período, agradeço a tua compreensão.

RESUMO

Os incêndios florestais são responsáveis por diversos problemas ambientais, dos quais se destaca a poluição de cursos de água por inertes resultantes destes eventos. Partindo desta problemática, nesta dissertação pretende-se avaliar a alteração da constituição química e física da água da Ribeira de São Domingos (entre os concelhos da Lourinhã e Peniche), nomeadamente a variação do pH e teor de nutrientes, devido à água que escoou superficialmente da área queimada resultante do incêndio florestal que ocorreu no Planalto de Cezaredas a 19 de Julho de 2012. Assim, recolheram-se amostras de água em três pontos definidos estrategicamente ao longo desta ribeira (um a montante da área queimada e dois a jusante, sendo que um destes está localizado imediatamente após a área queimada) nas quais se avaliou o pH, a condutividade elétrica e os teores de N, P, K, Na, Ca e Mg.

Os resultados obtidos nas águas colhidas a jusante da área queimada demonstram haver *input* de nutrientes na água da ribeira em análise, evidenciando também a maior exportação destes durante os primeiros episódios pluviosos responsáveis por gerar escorrência superficial. Este facto deve-se à maior disponibilidade de nutrientes nestas áreas e à reduzida proteção do solo, fator que facilita a escorrência superficial.

PALAVRAS-CHAVE: Água; Contaminação da Água Superficial; Escorrência Superficial; Incêndios Florestais; Perda de Nutrientes.

ABSTRACT

Forest fires are responsible for several environmental problems, especially for polluting watercourses. In this dissertation we intend to evaluate the changes occurring in the physical and chemical constitution of water of São Domingos stream (crossing the municipalities of Lourinhã and Peniche, Portugal), in particular pH and nutrient content variation, related to surface runoff from the burnt area of the Cezaredas plateau, where a forest fire occurred at July 19th, 2012. Thus, water samples were collected in three points strategically chosen along this stream (one upstream of the burnt area and two downstream, one of the last being located immediately after the burnt area) from which the pH, the electrical conductivity and the concentrations of N, P, K, Na, Ca and Mg were assessed.

The data obtained in the analysis of the samples collected downstream of the burnt area show an input of nutrients in the stream water and an evidence that nutrient transportation occurs in a higher degree during the first episodes of rainfall which are also responsible for generating surface runoff. This is due to the greater availability of nutrients in these areas and the reduced soil protection, a factor that facilitates surface runoff.

KEYWORDS: Water, Surface Water Contamination; Surface Runoff; Forest Fire; Nutrient Loss.

EXTENDED ABSTRACT

Forest fires are responsible for several environmental problems, especially for polluting watercourses. In this dissertation we intend to evaluate the changes occurring in the physical and chemical constitution of water of São Domingos stream (crossing the municipalities of Lourinhã and Peniche, Portugal), in particular pH and nutrient content variation, related to surface runoff from the burnt area of the Cezaredas plateau, where a forest fire occurred at July 19th, 2012. Thus, water samples were collected in three points strategically chosen along this stream (one upstream of the burnt area and two downstream, one of the last being located immediately after the burnt area) from which the pH, the electrical conductivity and the concentrations of N, P, K, Na, Ca and Mg were assessed.

The data obtained in the analysis of the samples collected downstream of the burnt area show an input of nutrients in the stream water and an evidence that nutrient transportation occurs in a higher degree during the first episodes of rainfall which are also responsible for generating surface runoff. This is due to the greater availability of nutrients in these areas and the reduced soil protection, a factor that facilitates surface runoff.

The concentration of nutrients in the water collected from the São Domingos stream, after it had passed through the burnt area, was not very high. This is due to the fact that the burnt area corresponds only to a small proportion of the drained basin in study and, therefore, a dilution effect of the dragged nutrients might have probably taken place.

The analysis of the sampled waters showed a high concentration of Ca, even in those samples collected upstream of the burnt area. These results are explained by the higher availability of this natural element in the study area. On the other hand, the concentrations of P and N were very low in the waters sampled, confirming a migration of small quantities of these nutrients from the burnt areas into the water of the stream, which can be explained by the diminished availability of these elements in these areas.

The results presented in this dissertation demonstrate that the watercourses downstream of the burned areas are more vulnerable to contamination. However, the concentrations of the chemicals evaluated were very small and there is no danger to human health if these waters are consumed.

KEYWORDS: Water, Surface Water Contamination; Surface Runoff; Forest Fire; Nutrient Loss.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
EXTENDED ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE	IX
LISTA DE QUADROS	XIII
LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS E SÍMBOLOS.....	XIX
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1 - O CICLO HIDROLÓGICO; OS INCÊNDIOS FLORESTAIS E A POLUIÇÃO DA ÁGUA	5
1. 1. O Ciclo Hidrológico	5
1. 1. 1. A água superficial	8
1. 1. 2. Escoamento sub-superficial	10
1. 1. 3. A água subterrânea.....	10
1. 2. A floresta.....	12
1. 2. 1. A floresta em Portugal Continental	13
1. 3. Os incêndios florestais	14
1. 3. 1. O caso de Portugal	16
1. 3. 2. Elementos resultantes de incêndios florestais disponíveis à superfície do solo	20
1. 4. Poluição dos cursos de água superficiais por inertes resultantes de incêndios florestais.....	24
1. 5. Os incêndios florestais e a qualidade da água	28
1. 6. Água da chuva	31
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA.....	33
2. 1. Seleção da área de estudo	33
2. 1. 1. Área de estudo	33
2. 1. 1. 1. Enquadramento geográfico.....	33

2. 1. 1. 2. Bacia hidrográfica do Rio de São Domingos e algumas características dos cursos de drenagem principais	34
2. 1. 1. 3. Litologia, tipo, uso e ocupação do solo.....	35
2. 1. 1. 4. O clima	38
2. 1. 1. 5. A precipitação.....	39
2. 2. O incêndio florestal do Planalto de Cezaredas - definição dos locais para a colheita de amostras de água	43
2. 2. 1. Características geomorfológicas da área ardida.....	45
2. 3. Colheita de amostras de água em função da precipitação.....	45
2. 4. Tratamento e análise das amostras de água.....	49
2. 4. 1. Preparação das amostras de água.....	49
2. 4. 2. Metodologia analítica	49
2. 4. 2. 1. pH	50
2. 4. 2. 2. Condutividade elétrica	50
2. 4. 2. 3. Azoto.....	51
2. 4. 2. 4. Fósforo	51
2. 4. 2. 5. Bases de troca.....	51
2. 5. Tratamento dos dados para análise estatística	52
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
3. 1. Parâmetros das amostras de água analisados em laboratório	53
3. 1. 1. Variação do pH	53
3. 1. 2. Condutividade elétrica.....	55
3. 1. 3. Variação do teor de azoto total.....	57
3. 1. 4. Variação do teor de fósforo	58
3. 1. 5. Bases de troca	61
3. 1. 5. 1. Cálcio	61
3. 1. 5. 2. Magnésio.....	62
3. 1. 5. 3. Potássio	64
3. 1. 5. 4. Sódio.....	65
3. 1. 5. 5. Variação média do teor das bases de troca nos três locais de amostragem	67
3. 2. Condicionamento da migração de nutrientes pela geomorfologia da área queimada e pela regeneração da vegetação	67
3. 3. Teor de nutrientes nas águas analisadas.....	70

3. 3. 1. Relação entre o teor dos vários elementos químicos da água	71
3. 4. Relação entre a precipitação e o teor de nutrientes observado nas águas	72
3. 5. Relação entre as características físicas da área de estudo e os elementos químicos analisados nas águas.....	74
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
BIBLIOGRAFIA	81
OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	93
DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS	95
ANEXOS.....	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1. Área florestal nas várias regiões de Portugal Continental.....	14
Quadro 1.2. Área ardida por região (NUT II) nos anos de 1981, 1991, 2001, 2011.	17
Quadro 1.3. Total de área ardida entre 1980 e 2012 em Portugal Continental e alguns parâmetros climáticos.	19
Quadro 1.4. Alguns parâmetros estatísticos apresentados por CORTEZ (1996) relativos aos valores de pH e às concentrações de carbono e de nutrientes na precipitação bruta, no eucaliptal e pinhal, obtidos entre Novembro de 1992 e Janeiro de 1995.....	32
Quadro 2.1. Precipitação média anual registada nas estações meteorológicas mais próximas da área de estudo entre 1980 e 2010.	40
Quadro 2.2. Designação das amostras de água e referência geográfica do local de colheita.	44
Quadro 2.3. Precipitação média das estações meteorológicas da Areia Branca, Baleal, Barragem de Magos, Rego da Murta, Sobral da Abelheira e São Julião do Tojal e respetivos períodos de monitorização em função da colheita das amostras de água.	48
Quadro 2.4. Características dos setores da bacia hidrográfica do Rio de São Domingos.	49
Quadro 2.5. Referência atribuída a cada amostra de água colhida e analisada em laboratório.	50
Quadro 3.1. Concentração de N na água das diversas amostras.....	57
Quadro 3.2. Parâmetros estatísticos do teor de nutrientes das águas analisadas.	70
Quadro 3.3. Matriz de coeficientes de correlação entre os diversos elementos químicos das águas analisadas.....	71
Quadro 3.4. Relação entre o somatório da precipitação média diária para cada evento pluvioso antecedente a cada colheita, com o teor de nutrientes (mg l^{-1}) nas águas colhidas nos três pontos de amostragem nos quatro momentos.	73
Quadro 3.5. Características físicas dos setores da bacia hidrográfica e a média dos teores dos vários elementos químicos analisados nas águas dos três locais de amostragem.....	74
Quadro 3.6. Coeficientes de correlação entre as características físicas dos setores da bacia hidrográfica (b_A , b_B e b_C), precipitação estimada e os valores médios de pH, da condutividade elétrica (CE em dS cm^{-1}) e dos teores (mg l^{-1}) dos vários elementos químicos avaliados nas águas dos três locais de amostragem.	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. O ciclo hidrológico.	6
Figura 1.2. Porosidade primária (A) e porosidade secundária (B e C).....	11
Figura 1.3. Triângulo do Fogo.	15
Figura 1.4. Área ardida em Portugal Continental entre os anos de 1980 e 2012.	17
Figura 1.5. Áreas ardidas em Portugal Continental entre 1990 e 2012.....	18
Figura 1.6. Exemplo de uma área severamente queimada no Planalto de Cezaredas (19/07/2012)...21	
Figura 1.7. Cinzas depositadas na superfície do solo resultantes do incêndio florestal ocorrido no Planalto de Cezaredas (19/07/2012).	22
Figura 1.8. Repelência da água em solos onde ocorreram incêndios florestais.....	23
Figura 1.9. Escoamento em bacias hidrográficas ardidas.	26
Figura 1.10. Modelo concetual de circulação da água nas vertentes (adaptado de CLARK e SMALL, 1982) com representação do transporte de material da vertente queimada até ao canal de drenagem e, também, do processo de formação de camada hidrófoba (adaptado de DEBANO, 1990 e FERREIRA <i>et al.</i> , 2010b).	27
Figura 1.11. Partículas de carvão vegetal resultantes de combustão incompleta da vegetação transportadas pela água da Ribeira e Rio de São Domingos até à Barragem de São Domingos, onde se encontram depositadas (fotografia de 23/10/2012).	28
Figura 1.12. Possíveis caminhos dos nutrientes após a combustão nos incêndios florestais até serem inalados ou ingeridos pelo Homem.....	31
Figura 2.1. Localização geográfica da área onde ocorreu o incêndio florestal do Planalto de Cezaredas.	34
Figura 2.2. Traçado em planta e perfil longitudinal da Ribeira e do Rio de São Domingos.	36
Figura 2.3. Litologia, Solos e Ocupação do Solo da sub-bacia hidrográfica do Rio de São Domingos.	37
Figura 2.4. Localização da pedreira no Planalto de Cezaredas e respetiva interseção com a Ribeira de São Domingos.....	38
Figura 2.5. Localização das estações meteorológicas utilizadas na modelação numérica da precipitação média anual.....	39
Figura 2.6. Relação entre a precipitação média anual (1980 a 2010) e a altitude das estações meteorológicas.....	41
Figura 2.7. Modelo numérico de precipitação.	42
Figura 2.8. Precipitação média mensal (mm) registada nos anos hidrológicos compreendidos entre 1979 e 2010 nas 5 estações meteorológicas mais próximas à localidade de Cezaredas.....	43

Figura 2.9. Área afetada pelo incêndio florestal do Planalto de Cezaredas representada sob extrato da Folha 349 da Carta Militar de Portugal (1:25.000), com a localização dos pontos de colheita de amostras de água ao longo da Ribeira de São Domingos e na Barragem de São Domingos.....	44
Figura 2.10. Área queimada drenada diretamente para a Ribeira de São Domingos entre os pontos de colheita de amostras de água A e B, com representação do perfil topográfico das vertentes que compreendem esta área.	45
Figura 2.11. Precipitação diária registada nas seis estações meteorológicas mais próximas ao Planalto de Cezaredas, após a ocorrência do incêndio florestal nesta área.	46
Figura 2.12. Variação da precipitação média diária registada entre 19/07/2012 e 17/01/2013 nas estações meteorológicas em funcionamento mais próximas ao Planalto de Cezaredas (Areia Branca, Baleal, Barragem de Magos, Rego da Murta, Sobral da Abelheira e São Julião do Tojal), com representação dos dias selecionados para a colheita de amostras de água.	47
Figura 2.13. Interpolação da precipitação média dos quatro períodos pluviosos antecedentes a cada colheita de amostras de água, nas seis estações meteorológicas (em funcionamento) mais próximas à área de estudo.	48
Figura 3.1. Variação do pH da água colhida entre montante da área ardida (A), jusante da área ardida (B) e Barragem de São Domingos (C).	53
Figura 3.2. Variação do pH nas amostras de água no período monitorizado.....	54
Figura 3.3. Média do pH das águas nos três locais de amostragem (A, B e C) para os quatro momentos de amostragem.	55
Figura 3.4. Variação da condutividade elétrica na água colhida entre montante da área ardida (A), jusante da área ardida (B) e Barragem de São Domingos (C).....	56
Figura 3.5. Variação da condutividade elétrica na água das várias amostras ao longo do período de monitorização.....	57
Figura 3.6. Média dos teores de N de todas as águas colhidas por local de amostragem (A, B e C). .	58
Figura 3.7. Variação da concentração de P na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).	59
Figura 3.8. Variação da concentração de P nas amostras de água dos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.	60
Figura 3.9. Média da concentração de P nas águas das amostras dos três locais de amostragem (A, B e C), considerando os quatro momentos de colheita.	60
Figura 3.10. Variação da concentração de Ca na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).	61
Figura 3.11. Variação da concentração de Ca nas águas colhidas nos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.	62
Figura 3.12. Variação da concentração de Mg na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).	63
Figura 3.13. Variação da concentração de Mg nas águas colhidas nos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.	63

Figura 3.14. Variação da concentração de K na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).	64
Figura 3.15. Variação da concentração de K nas águas colhidas nos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.	65
Figura 3.16. Variação da concentração de Na na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).	66
Figura 3.17. Variação da concentração de Na nas águas colhidas nos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.	66
Figura 3.18. Média dos teores das bases de troca por local de amostragem.	67
Figura 3.19. Depressão no solo resultante da queima de um tronco de pinheiro.	68
Figura 3.20. Vertente do Planalto de Cezaredas queimada durante o incêndio de 19 de Julho de 2012, com a regeneração do coberto vegetal em 23 de Fevereiro de 2013.	69
Figura 3.21. Relação entre o fator 1 e 2 obtidos a partir dos elementos químicos analisados nos diferentes pontos de amostragem.	72

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS E SÍMBOLOS

AE	Área de estudo
AFN	Autoridade Florestal Nacional
ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
Ba	Bário
Ca	Cálcio
cm	centímetro
Cu	Cobre
ETP	evapotranspiração potencial
ETR	evapotranspiração real
Fe	Ferro
ha	hectare
HAP	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e Florestas
K	Potássio
km	quilómetro
km²	quilómetro quadrado
m	metro
m²	metro quadrado
MADRP	Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas
MAOTE	Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia
max	máximo
mg	miligrama
Mg	Magnésio
min	mínimo
ml	mililitro
Mn	Manganês
MNE	Modelo Numérico de Elevação
MNP	Modelo Numérico de Precipitação
N	Azoto
Na	Sódio
NUT	Nomenclatura de Unidades Territoriais para Estatística
P	Fósforo
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
X_{me}	mediana
Zn	Zinco
\bar{X}	média
σ	desvio padrão

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais têm assolado Portugal um pouco por todo o seu território, e são responsáveis por elevados prejuízos materiais e por várias mortes, tanto de profissionais no seu combate, como da população. Estes eventos também se têm revelado muito prejudiciais para o ambiente, sobretudo devido à quantidade de poluentes que são emitidos para a atmosfera durante a combustão do material florestal e por deixar “desprotegidas” as vertentes, do qual resultam problemas *a posteriori*, nomeadamente a perda de solo por erosão (hídrica e eólica) e a contaminação da água superficial e subterrânea com determinados elementos, que são transportados pela água que escoou da área onde ocorreu o incêndio (fonte de poluição difusa).

O interesse da comunidade científica pela temática dos incêndios florestais tem aumentado nas últimas décadas, principalmente a partir dos anos 80 e 90 do século passado, após a observação de consequências gravosas no ambiente, em função dos grandes e catastróficos incêndios florestais que ocorreram durante esse período (BENTO-GONÇALVES *et al.*, 2012). Atualmente existe uma vasta investigação sobre as emissões de poluentes dos incêndios florestais para a atmosfera e dos problemas daí resultantes (e.g. PIO *et al.*, 2006; CARVALHO *et al.*, 2011; FILIPPI *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*, 2012; entre outros) e, também, dos impactes causados nos solos, destacando-se, por exemplo, a sua degradação pela remoção da matéria orgânica, destruição da sua estrutura, devastação da atividade biológica ou a propensão para a sua perda pelos mais variados processos físicos (e.g. ANDREU *et al.*, 2001; NEARY *et al.*, 2005; FOX *et al.*, 2007; PINTO, 2009; VERGNOUX *et al.*, 2011). Porém, os problemas que estes eventos podem causar nas bacias hidrográficas são, maioritariamente, investigados compreendendo a componente dos solos, destacando-se alguns estudos sobre a entrega de sedimentos nos cursos de água, apontando-se os incêndios florestais como uma das causas preponderante no aumento desta entrega, considerando os processos que ocorrem no solo anteriormente referidos (SCOTT, 1997; HOPKINS, 2001; JOHANSEN *et al.*, 2001; FERREIRA *et al.*, 2008; KIM *et al.*, 2008; MENESES, 2011a; NERIS *et al.*, 2012).

Também vão surgindo alguns estudos sobre a poluição da água por elementos resultantes dos incêndios florestais, nomeadamente o excesso de nutrientes e outros compostos transportados pela água da escorrência superficial das áreas ardidas para os cursos de água a jusante (e.g. LANDSBURG e TIEDEMANN, 2000; ALEXANDER *et al.*, 2004; SHERIDAN *et al.*, 2004; ANGELER e MORENO, 2006; SMITH *et al.*, 2011a, entre outros). É neste sentido que estes eventos são considerados uma “fonte” de poluição da água, visto causarem alterações físicas e químicas na água, reduzindo a sua qualidade (ICE *et al.*, 2004; SMITH *et al.*, 2011a). O maior efeito deve-se ao aumento da escorrência da água da precipitação na superfície queimada, devido à perda da cobertura vegetal, o que proporciona a redução da infiltração (VADILONGA *et al.*, 2008). Estes processos propiciam o aumento de partículas de solo transportadas em suspensão na água em movimento pelas vertentes ardidas, a perda de nutrientes inorgânicos e outras substâncias resultantes dos incêndios, refletindo-

se estas no *input* nos cursos de água a jusante (redução da sua qualidade), o que pode conduzir a determinadas consequências no biota (TIEDEMANN *et al.*, 1979; CROUCH *et al.*, 2006).

Estes impactes podem variar em função da concentração destes elementos na água, evidenciando-se a importância da monitorização dos níveis de poluição da água após os incêndios, de forma a evitar ou minimizar consequências ambientais e, também, consequências na saúde do Homem, se esta água se destinar ao consumo doméstico. Foi em torno desta problemática que se centrou a investigação apresentada nesta dissertação, realizada no âmbito do mestrado de Engenharia do Ambiente. Nesta área científica têm-se vindo a desenvolver determinados trabalhos que contemplam a temática dos incêndios florestais e redução da qualidade da água, realçando a impreteribilidade no aprofundamento da investigação nestes campos de modo a evitar ou reduzir impactes atuais ou futuros causados por estes eventos.

Por ser um tema complexo, tornou-se importante definir à partida os principais objetivos da investigação, sendo estes:

- Avaliação da poluição potencial dos cursos de água em bacias hidrográficas onde ocorreram incêndios florestais;
- Determinação da perda de elementos químicos presentes em áreas ardidas, pela água da escorrência superficial e consequente alteração da qualidade da água de cursos superficiais.

A partir destes objetivos surgiram questões mais específicas relacionadas com a poluição potencial dos cursos de água superficiais, através de poluentes resultantes dos incêndios florestais e, também, com a metodologia a adotar nesta avaliação, tanto na determinação dos elementos potencialmente poluentes e sua concentração na água, como na determinação dos locais para se fazer esta monitorização. Neste contexto, surgiram as seguintes questões:

1. Qual a importância geográfica das áreas afetadas por incêndios florestais na contaminação dos cursos de água superficiais?
2. Qual o papel da precipitação na mobilização de substâncias ou elementos químicos das áreas ardidas?
3. Existe alguma relação entre a escorrência superficial e a contaminação de cursos de água por inertes resultantes de incêndios florestais?
4. Que elementos resultantes dos incêndios florestais são transportados pela água da escorrência superficial? Quais os que se destacam pela concentração mais elevada?
5. Haverá variação na concentração dos elementos transportados pela água da escorrência superficial das áreas ardidas para as linhas de água, em função da precipitação total ocorrida por casa episódio chuvoso? Considerando todos os elementos químicos entregues nos cursos de água, a variação da concentração é linear ao longo do tempo?

Ao longo desta dissertação tentar-se-á encontrar as respostas para as questões anteriormente referidas. Quanto à estrutura desta dissertação, está dividida em três capítulos, com a seguinte ordem:

- **Capítulo 1** – corresponde ao estado da arte da temática em análise. Começa-se pela descrição do ciclo hidrológico para se compreender os vários processos de circulação da água na Terra, o seu armazenamento e as mudanças de estado. Em seguida, aborda-se a importância da floresta na sua valência em proporcionar água potável e na disponibilização de material ou combustível, para a ocorrência de incêndios florestais. Faz-se também a abordagem do que se entende por fogo e incêndios florestais (conceitos), sob o ponto de vista de diversos autores, referindo-se o caso de Portugal como área fortemente afetada por estes eventos, onde se descreve as características da floresta neste território, como fator preponderante aos incêndios florestais. Por fim, descrevem-se as principais consequências resultantes destes incêndios, tanto nas vertentes ardidas, como nas águas, referindo-se alguns impactos causados pela poluição desta última nos seres vivos.
- **Capítulo 2** – descreve-se a metodologia adotada nos vários procedimentos realizados no campo, no laboratório e gabinete. Na primeira parte refere-se como se selecionou a área de estudo e os dados utilizados para a avaliação do território, onde se fez a monitorização da possível poluição da água por inertes resultantes dos incêndios florestais. Apresenta-se a área de estudo e faz-se o enquadramento geográfico da mesma, descrevendo-se as características físicas deste território (e.g. tipo de solos, litologia, morfologia das vertentes), o tipo de cobertura do solo, com descrição das principais espécies vegetais e apresenta-se o traçado da rede hidrográfica, com uma breve avaliação das características da bacia hidrográfica onde se localiza esta área de estudo. Com maior pormenor representa-se a área onde ocorreu o incêndio florestal e as suas características. Na última parte apresentam-se os vários procedimentos realizados no campo, para a recolha de amostras de água nos locais anteriormente referidos (selecionados) e, numa fase posterior, descrevem-se os métodos usados em laboratório para a análise da água colhida.
- **Capítulo 3** – apresentam-se os resultados obtidos nas várias análises realizadas em laboratório às amostras de água colhidas em campo e também a sua discussão. Primeiro apresentam-se alguns fatores condicionantes da área de estudo na migração de nutrientes para a Ribeira de São Domingos. De seguida realiza-se a análise descritiva dos resultados e, posteriormente, procede-se à avaliação analítica dos mesmos, com diversas variáveis independentes como é o caso das características físicas do território (e.g. distância ao curso de água, declive e exposição das vertentes, entre outros) e precipitação, para se compreender a influência destes na contaminação potencial dos cursos de água por elementos resultantes dos incêndios florestais, transportados pela escorrência superficial.

No final apresentam-se as principais considerações e as respostas sintetizadas às questões de partida. Também se apresentam as principais dificuldades e algumas sugestões a considerar nas próximas investigações sobre a temática abordada.

CAPÍTULO 1 - O CICLO HIDROLÓGICO; OS INCÊNDIOS FLORESTAIS E A POLUIÇÃO DA ÁGUA

A temática abordada nesta dissertação requer a compreensão dos processos de circulação da água na Terra, para posteriormente se compreender como a água dos cursos de água superficiais está suscetível à poluição por inertes resultantes de incêndios florestais.

Assim, no início deste capítulo abordam-se os vários processos que ocorrem nesta circulação e, posteriormente, as várias formas de contaminação dos cursos de água superficiais com estes inertes. Também se aborda a importância da floresta por contribuir para a pureza da água e pela disponibilização do material (combustível) para a ocorrência dos incêndios florestais. Estes eventos serão abordados com maior detalhe, fazendo-se primeiro a descrição da ocorrência destes eventos em Portugal e, posteriormente, dos processos compreendidos pelos mesmos, compostos resultantes e alguns impactos causados, tanto no solo como na água. Aborda-se, ainda, a temática da água da chuva, com maior ênfase para a sua composição.

1. 1. O CICLO HIDROLÓGICO

A água, na Terra, funciona em circuito fechado onde a circulação da água se faz continuamente entre os oceanos, a atmosfera e os continentes, havendo aqui um equilíbrio entre a formação de “água nova”, devido aos vulcões e fontes termais, e a sua destruição por fotodissociação do vapor de água da atmosfera pela radiação solar (RAMOS, 2005). Neste sistema fechado há uma sequência contínua de processos de movimento da água, armazenamento e mudanças de estado, designado por ciclo hidrológico (DAVID, 2002) (Figura 1.1).

Os incêndios florestais têm efeitos no ciclo hidrológico, sobretudo na redução da infiltração, evapotranspiração e no aumento do escoamento superficial (KONSTANTINOS *et al.*, 2010). Estes efeitos estão associados à destruição da cobertura vegetal pelo fogo, resultando consequentemente a perda da interseção da precipitação, diminuição da evapotranspiração e aumento da velocidade da escorrência superficial (ROBICHAUD, 2000; BOND *et al.*, 2007).

Para LENCASTRE e FRANCO (2003) o ciclo hidrológico não tem princípio ou fim. Este ciclo descreve os diversos caminhos através dos quais a água na natureza circula e se transforma, constituindo um sistema arbitrário e de enorme complexidade, por não ter um ponto de começo ou terminação, podendo este iniciar, por exemplo, na evaporação de água dos oceanos e a sua passagem para a atmosfera (HIPÓLITO e VAZ, 2011).

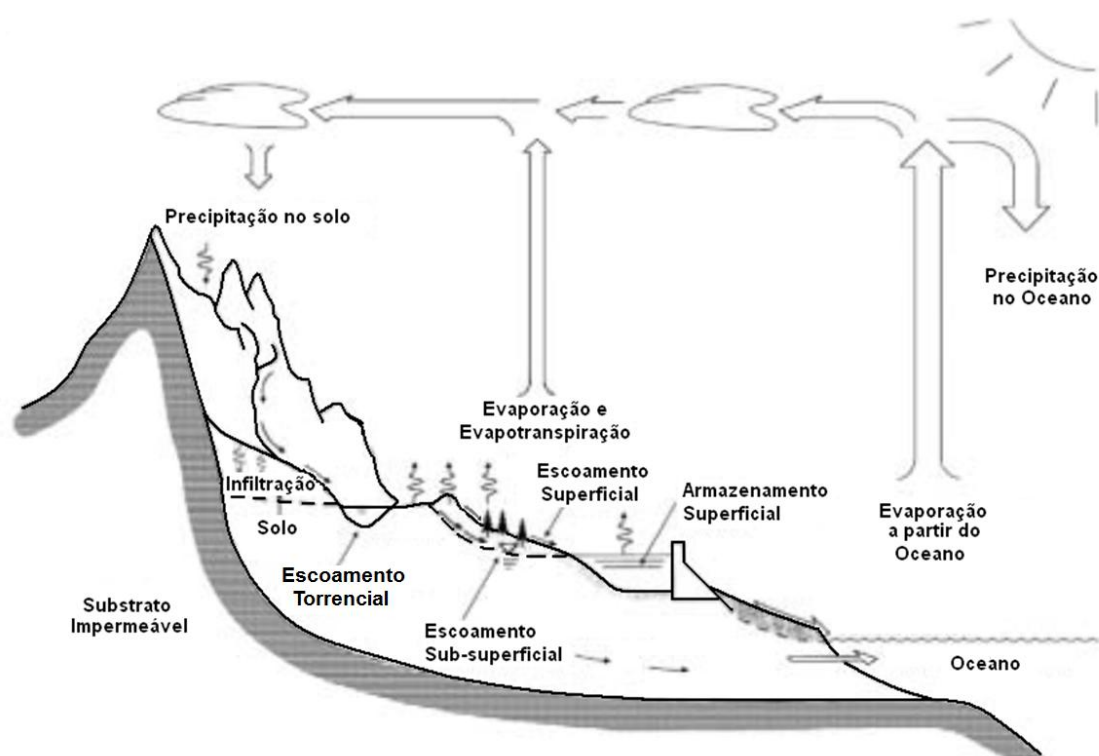


Figura 1.1. O ciclo hidrológico.

Fonte: adaptado de NYMAN e ENSR INTERNATIONAL (2002, p. 2-2).

Segundo LENCASTRE e FRANCO (2003) a energia solar é o “motor” de todo o ciclo, mencionando a acumulação de vapor de água na atmosfera, que em determinadas condições dá origem à precipitação (chuva, granizo, neve, orvalho e geada). RAMOS (2005) refere que além da energia solar, o ciclo hidrológico é alimentado também pela energia gravítica.

O vapor de água resultante da evaporação dos oceanos vai acumulando-se na atmosfera e é posteriormente transportado por massas de ar em movimento, variando o seu teor no espaço e tempo (TRENBERTH *et al.*, 2007; HIPÓLITO e VAZ, 2011). Segundo MASSAMBANI (2005) a concentração de vapor de água na atmosfera é bastante reduzida, representando cerca de 1/10000 da água total no ciclo hidrológico.

Quanto à precipitação, uma parte atinge a superfície da Terra e pode ficar aqui retida e proporcionar a evaporação e o escoamento superficial, ou então, cair diretamente na rede hidrográfica, podendo desta forma atingir o oceano (maior fonte de evaporação). A outra parte da precipitação, quando atinge a superfície anteriormente mencionada, dá origem à infiltração, favorecendo o humedecimento do solo (fonte de evaporação), servindo parte desta água para a alimentação das plantas, voltando à atmosfera a partir da sua transpiração (NYMAN e ENSR INTERNATIONAL, 2002; LENCASTRE e FRANCO, 2003).

Para se compreender de forma mais simplificada e resumida os múltiplos caminhos da precipitação que cai na superfície da Terra, consideram-se as hipóteses de esta evaporar na sua queda, ser

intercetada pela vegetação e cobertura do edificado e voltar a evaporar-se, ou atingir a superfície do solo, originando o escoamento ou, simplesmente, ficar aqui armazenada em depressões superficiais (CLARK e SMALL, 1982; HIPÓLITO e VAZ, 2011). A água armazenada nestas depressões pode evaporar-se ou infiltrar-se. A parte que se infiltra pode contribuir para o processo de alimentação das plantas e da evaporação a partir do solo (evapotranspiração), voltando posteriormente à atmosfera; por outro lado, devido ao efeito da gravidade, pode percolar para zonas mais profundas e alimentar reservatórios de água subterrânea, ou seja, os aquíferos, podendo estes contribuir para o escoamento dos rios ou então escoar diretamente para os oceanos (HIPÓLITO e VAZ, 2011).

Neste contexto é importante perceber como se processa a transferência da água do ramo aéreo para o terrestre através da precipitação, ou seja, o *input* da água nos sistemas naturais, pois é esta que alimenta as outras componentes do ciclo hidrológico, conforme referido por RAMOS (2005). Este autor apresenta a seguinte equação para a explicação deste facto:

$$P = ET + I + ES + \Delta A_{sup} + \Delta A_{so} + \Delta A_{sub} \quad [1.1]$$

correspondendo P à precipitação, ET à evapotranspiração, I à infiltração, ES ao escoamento, ΔA_{sup} à variação do armazenamento superficial, ΔA_{so} à variação do armazenamento no solo, ΔA_{sub} à variação do armazenamento subterrâneo.

Também é referido por este autor que em longos períodos de tempo é frequente admitir-se que as variações de armazenamento de água se anulam, resultando a seguinte equação mais simplificada:

$$P = ET + I + ES \quad [1.2]$$

correspondendo P à precipitação, ET à evapotranspiração, I à infiltração e ES ao escoamento.

Como referido anteriormente, a evapotranspiração corresponde à transpiração das plantas e do meio circundante, sendo esta influenciada por vários fatores (RAMOS, 2005): radiação solar, latitude, estação do ano, hora do dia e nebulosidade, calor armazenado pela massa de água, a tensão do vapor, que depende da temperatura do ar, pressão atmosférica e humidade, velocidade do vento, extensão da superfície evaporante e a profundidade da massa de água, salinidade da água, natureza do solo e vegetação. Esta pode ser diferenciada entre evapotranspiração real (quantidade de água que é efetivamente transferida para a atmosfera) e evapotranspiração potencial (perda de água possível para a atmosfera em condições ideais de o solo estar amplamente abastecido de água). No cálculo da evapotranspiração real (ETR) podem ocorrer duas situações: se a precipitação é maior ou igual à evapotranspiração potencial (ETP), então ETR é igual a ETP; se a precipitação for inferior a ETP, então ETR é inferior a ETP, ocorrendo a ETR em detrimento da reserva de água no solo (LENCASTRE e FRANCO, 2003; RAMOS, 2005).

No cálculo do balanço hidrológico total para uma determinada região, LENCASTRE e FRANCO (2003) apresentam a seguinte equação:

$$\Delta S = P - (R + G + E + T) \quad [1.3]$$

onde, ΔS é a variação do volume armazenado (à superfície e abaixo da superfície), P a precipitação que atinge a superfície do solo, R o escoamento superficial, G o escoamento subterrâneo, E a evaporação e T a transpiração.

Para o cálculo do balanço hidrológico à superfície, segundo os autores anteriormente referidos, pode utilizar-se a seguinte equação:

$$\Delta S_s = P + R_g - (R + E_s + T_s + I) \quad [1.4]$$

correspondendo P à precipitação que atinge a superfície do solo, R_g ao escoamento subterrâneo que volta à superfície ("ressurgência"), R ao escoamento superficial, E_s à evaporação de águas superficiais, T_s transpiração alimentada por águas superficiais e I à infiltração.

Abaixo da superfície o balanço hidrológico calcula-se a partir da seguinte equação:

$$\Delta S_g = I - (G + R_g + E_g + T_g) \quad [1.5]$$

sendo I a infiltração, G o escoamento subterrâneo, R_g armazenamento abaixo da superfície, E_g a evaporação de águas subterrâneas e T_g a transpiração alimentada por águas subterrâneas.

O balanço hidrológico pode ser positivo ou negativo. No primeiro caso a precipitação é superior à evapotranspiração potencial, diferenciando-se aqui duas situações entre a reconstituição da reserva útil de água no solo e o excesso de água; no segundo caso, é negativo, porque a precipitação é inferior à evapotranspiração potencial, podendo aqui também ocorrer duas situações, nomeadamente a evapotranspiração ser em detrimento da reserva de água do solo, ou haver défice de água (RAMOS, 2005).

1. 1. 1. A ÁGUA SUPERFICIAL

A água proveniente da precipitação que excede a retenção superficial, a infiltração e a evaporação fica disponível para o escoamento superficial (QUINTELA, 1984a,b; HIPÓLITO e VAZ, 2011). Este escoamento dá origem a linhas de água que se fundem e dão origem a rios que vão desaguar no oceano, havendo no seu percurso, evaporação de água, acumulação de água da precipitação que cai diretamente sobre os mesmos e, também, a alimentação de toalhas de água subterrânea. Este escoamento é pouco concentrado junto das linhas de cabeceira das bacias hidrográficas, devido à reduzida área superficial de escorrência das encostas envolvidas, mas à medida que há um afastamento desta cabeceira, o escoamento torna-se mais concentrado devido ao aumento da área de captação da bacia. Contudo, neste sector jusante o escoamento pode ocorrer, por vezes, muito

tempo após a ocorrência da precipitação, tendo esta origem na água que se encontra ainda em trânsito à superfície e na água que, tendo-se infiltrado, vai drenando ao longo do tempo (HIPÓLITO e VAZ, 2011). Segundo os autores anteriormente citados, em cada instante, a água que escoar à superfície, em trânsito para o oceano, constitui um volume armazenado, designado por detenção superficial.

A escoadura superficial (um processo compreendido pelo escoamento superficial) é a água que circula na superfície das vertentes. Esta água é proveniente da precipitação ou fusão da neve e tem impactos na degradação do solo, como por exemplo a erosão hídrica (FERREIRA, 2005; RANDLE *et al.*, 2006). Esta circulação pode diferenciar-se entre escoadura elementar (não organizada) e escoamento organizado. O primeiro caso subdivide-se entre escoadura laminar ou toalha, do qual resulta erosão laminar (*sheet erosion*) e escoadura linear ou concentrada, que dá origem a sulcos (*rill erosion*) e ravinas (*gully erosion*), já no segundo caso, existe a organização dos cursos de água, sendo este constituído por rios e ribeiras (NYMAN e ENSR INTERNATIONAL, 2002).

Os rios têm um papel importante no escoamento superficial, não apenas pela quantidade de água drenada, mas por serem o culminar de águas de várias proveniências, como é o caso de águas de drenagem natural, águas de infiltração, águas de terras irrigadas, águas de atividades antrópicas, agrícolas e industriais e, também, por exercerem uma ação de erosão, transporte e sedimentação (ALMEIDA, 2010).

A precipitação é o agente erosivo com maior relevância nos processos de erosão hídrica (agente ativo), por desencadear dois processos mecânicos distintos: o impacto causado pelas gotas de chuva no solo (*splash*) e a escoadura pluvial pelas vertentes, ou seja, circulação de água à superfície (ROXO, 1994; LEGOUT *et al.*, 2005; KRECHETNIKOV e HOMSY, 2009; MENESES, 2011a). O impacto direto das gotas da chuva no solo provoca a desagregação das suas partículas, um processo considerado por ROXO (1994) fundamental no desencadear da erosão hídrica. Segundo este autor, este processo divide-se em três fases: o impacto da gota no solo, originando um esforço pela compressão exercida sobre a superfície; o salpico, resultante da formação de uma coroa com posterior rutura da gota, da qual resulta a projeção de partículas e de água pelo esforço exercido num corte radial do centro para a periferia e por último, formação de uma pequena cratera ou depressão convexa. Além destes processos, o impacto da gota no solo origina a sua compactação, pela força exercida no momento do impacto. Considerando o processo de *splash* em áreas onde ocorreram incêndios florestais, segundo os resultados obtidos em ensaios experimentais efetuados por PROVIDOLI *et al.* (2002) numa área florestal ardida no sul da Suíça, a variação dos índices de perda de solo e desagregação do mesmo após o incêndio é pouco significativa, porque nestas áreas proporcionou-se o crescimento rápido da vegetação, fator que impossibilita o impacto direto das gotas de chuva no solo e a sua desagregação, aumentando a infiltração e a redução consecutiva da escoadura superficial. No entanto, desde que ocorre o incêndio florestal até que se proporcione o crescimento da vegetação para proteção do solo pode ocorrer a sua perda por estes processos erosivos, admitindo-se a variação destes em função da localização geográfica, do período em que ocorre a precipitação, sua intensidade e duração, características do solo e elementos disponíveis à

superfície. Em Portugal, a maioria dos incêndios florestais têm ocorrido durante os meses mais quentes, deixando as vertentes totalmente desprotegidas durante os meses de outono e inverno, período em que ocorre maior precipitação (PYNE, 2006; MENESES e SARMENTO, 2012).

Segundo ALMEIDA (2010) nos processos de meteorização química dos extratos da crosta terrestre (e.g. hidrólise, hidratação, oxidação, carbonatação, entre outros) proporciona-se a libertação de sais, facilmente transportados da fonte originária pela água de escorrência superficial ou pela água que se infiltra e alimenta o escoamento subterrâneo. Este autor refere também haver variação das características da água em função dos solos de onde estas são procedentes.

1. 1. 2. ESCOAMENTO SUB-SUPERFICIAL

A quantidade de água disponível no solo tem influência na circulação de água abaixo da superfície. Se o solo se encontrar seco, ou seja, com défice de água relativamente à sua capacidade de retenção, a água da precipitação vai infiltrar-se e ficar retida por este até se atingir a capacidade máxima de retenção, circulando posteriormente para maiores profundidades devido ao efeito da gravidade (OLIVEIRA e PINTO, 2004). Esta circulação pode ser sub-superficial, designando-se este processo por escoamento sub-superficial, podendo esta água reaparecer noutro local, i.e., ocorrer exfiltração (CLARK e SMALL, 1982); ou pode ir alimentar as reservas subterrâneas e neste caso, designa-se por escoamento subterrâneo (USGS, 2008). A água destes dois tipos de escoamento e a água do escoamento superficial vão alimentar os cursos de água, sendo este último o primeiro a findar após terminar a precipitação (processo mais rápido), seguindo-se o sub-superficial e mais tarde, devido ao esgotamento lento, o subterrâneo (RAMOS, 2005).

1. 1. 3. A ÁGUA SUBTERRÂNEA

Um dos maiores problemas da contaminação da água subterrânea é a dificuldade do seu tratamento (remediação), devido ao meio em que se encontra (difícil acessibilidade física), à persistência da poluição e tempo de residência e, também, à quantidade de água existente neste meio (FOSTER e CHILTON, 2003). Devido à escassez deste recurso, nos últimos anos tem-se verificado a evolução de alguns métodos usados nesta remediação, embora com muitas limitações (PEREIRA *et al.*, 2002; PRAHARAJ *et al.*, 2002; SINGH *et al.*, 2009; WANG *et al.*, 2012). Contudo, para se atuar é necessário identificar a fonte da sua degradação e (também) perceber como esta circula e é armazenada abaixo da superfície topográfica.

As águas subterrâneas são alimentadas pela infiltração como referido anteriormente. Aqui, a principal fonte de energia do constante movimento da água é a gravidade. No processo de infiltração no subsolo há quatro meios de circulação da água, nomeadamente os porosos, característicos das formações não consolidadas com espaços vazios entre os grãos dos minerais; os fissurados,

facilmente encontrados em rochas cortadas por descontinuidades (fraturas, falhas, planos de estratificação); os cárscicos, característicos das formações carbonatadas, onde a água tem um papel fundamental na abertura de orifícios (pela atividade química na dissolução e na remoção de substâncias dissolvidas); e por último o vacuolar, presente nas rochas vulcânicas, devido às bolhas aprisionadas na lava durante a sua deposição (RAMOS, 2005).

A porosidade, ou capacidade de retenção de água das formações geológicas, é a relação entre volume de espaços vazios destas formações e o volume total das mesmas, sendo mais elevado em formações não consolidadas e mais reduzido com o aumento da compactação, coesão e cimentação das rochas (RAMOS, 2005). Segundo HIPÓLITO e VAZ (2011) a porosidade subdivide-se em primária e secundária (Figura 1.2): a primeira resulta do período de constituição da rocha ou do solo e é determinante para os solos dependendo das suas texturas (arenosa, limosa, ou argilosa) e também para determinados tipos de rochas como por exemplo os basaltos; a segunda é gerada após a constituição das rochas por fracturação, alteração e dissolução do carbonato de cálcio pela água nas rochas calcárias, processo designado por carsificação.

A porosidade dos solos é fundamental no funcionamento hidrológico, destacando-se os solos bem estruturados por apresentarem macroporos necessários ao movimento da água em profundidade e seu armazenamento, ficando esta disponível para as plantas e para as populações microbianas e de micro e macro-fauna, conforme referido em FERREIRA *et al.* (2010b). Contudo, e segundo estes autores, a porosidade do solo pode estar comprometida pela ocorrência de incêndios florestais, devido à matéria orgânica (fundamental para a formação da estrutura do horizonte A do solo e também pela elevada porosidade) ser afetada pelo fogo, o que pode interferir na quantidade de água que se infiltra.

Nesta abordagem à temática da água subterrânea importa, ainda, abordar outros conceitos ligados ao seu armazenamento, bem como outras formas de circulação desta água (e.g. nascentes).

Os aquíferos são unidades geológicas saturadas de água que alimentam nascentes, rios, lagos e oceanos e de onde pode ser extraída água através de poços ou furos em quantidades economicamente apreciáveis e sem impactes ambientais negativos (HIPÓLITO e VAZ, 2011).



Figura 1.2. Porosidade primária (A) e porosidade secundária (B e C).

Fonte: adaptado de HIPÓLITO e VAZ (2011).

As formações geológicas que contêm água, mas cuja transmissão é extremamente lenta e sem quantidade suficiente para extração (pelo menos de forma rentável), designam-se por aquíferos. Estas formações têm um papel fundamental na recarga de aquíferos adjacentes. Os aquíferos são formações geológicas que contêm água, podendo ir até à saturação, mas não a transmitem, devido à sua forte capacidade de retenção, impossibilitando assim a sua extração. Há ainda os aquíferos, ou seja, formações geológicas que não contêm água (RAMOS, 2005).

Quanto às tochas aquíferas, estas estão divididas em três categorias (DIGOUT e UNEP/GRID-ARENDA, 2005): a freática ou livre, correspondente à parte superior da zona de saturação (próxima da superfície topográfica); a confinada, cativa ou artésiana (limitada no topo e base por formações impermeáveis) e por último, semi-confinada (quando uma das camadas que limita o aquífero é permeável, por onde este pode perder ou receber água).

As nascentes de água também se dividem em vários tipos (RAMOS, 2005): de gravidade (nascente que emerge para a superfície devido apenas ao facto dessa superfície interceptar o nível do aquífero); de contacto (a água flui de uma formação permeável subjacente a uma formação relativamente impermeável); de falha (alimentada por água subterrânea profunda que emerge de uma falha de grande dimensão); de fissura (flui de uma fissura ou fratura de uma rocha); vauclusiana (ressurgência em regiões cársticas, controlada por um sifão natural e com funcionamento intermitente). Esta água das nascentes pode contribuir para o transporte de elementos disponíveis à superfície, como é o caso de inertes resultantes dos incêndios florestais.

1. 2. A FLORESTA

A floresta tem elevado valor natural, ecológico e socioeconómico. Esta apresenta, em geral, grande biodiversidade e tem um importante papel ambiental e na regulação do clima, pela retenção da água, produção de oxigénio (através das espécies responsáveis pela fotossíntese) e retenção do carbono, e também por proporcionar o fornecimento de matérias-primas (e.g. madeira, resina, entre outros) e alimentos (FEARNSIDE, 1995; SCBD, 2001; FARCY e DEVILLEZ, 2005; CROITORU, 2007; BARITZ *et al.*, 2010; LI *et al.*, 2010; SCHOENE e BERNIER, 2011). Destaca-se também a importância desta por proporcionar água potável e de boa qualidade (reduzido teor de sedimentos e poluentes), face à água captada em áreas com influência antrópica, geralmente de menor qualidade (WB e WWF, 2003; ELLIS *et al.*, 2004; SMITH *et al.*, 2011b, 2011b).

Muitas das paisagens florestais têm-se alterado devido a múltiplos fatores, referindo-se por exemplo as alterações climáticas, a intervenção do Homem na conversão da floresta natural em plantações (desflorestação), sua manutenção, entre outras ações (CREED *et al.*, 2011). Porém, o maior impacto deve-se à ocorrência de grandes incêndios, constituindo-se estes eventos como os maiores responsáveis pela desflorestação, deixando as vertentes completamente expostas aos agentes erosivos (BROCKERHOFF *et al.*, 2008; KIM *et al.*, 2008; SHAKESBY, 2011; MENESES, 2011b; NERIS *et al.*, 2012). A perda desta cobertura vegetal tem implicações no aumento da escorrência

superficial da água da precipitação, pela redução da infiltração (KUCHMENT, 2004; VADILONGA *et al.*, 2008; MENESES, 2012), um fator que facilita o aumento do transporte de sedimentos do solo e outras partículas ao longo das vertentes até aos cursos de água (ROXO, 1994; LENCASTRE e FRANCO, 2003; RAMOS, 2005; HIPÓLITO e VAZ, 2011). Estes processos, desencadeados *a posteriori* da ocorrência dos incêndios florestais, têm despertado o interesse da comunidade científica, em particular na perceção do real impacte causado por estes eventos, tanto na perda de solo e alteração das suas propriedades físicas e químicas, como na poluição da água e, consequentemente, perturbações no biota (e.g. ANDREU *et al.*, 2001; SHIN *et al.*, 2002; OLIVELLA *et al.*, 2006; CROUCH *et al.*, 2006; FERREIRA *et al.*, 2008; KIM *et al.*, 2008; JUNG *et al.*, 2009; NOSKE *et al.*, 2010; STOOFF *et al.*, 2010; ESTEVES *et al.*, 2012; NERIS *et al.*, 2012).

1. 2. 1. A FLORESTA EM PORTUGAL CONTINENTAL

Neste território, a floresta começou a expandir-se após o recuo do glacial há 10000 anos (Holocénico), embora seja no Plistocénico que se tenha desenhado o mapa da nova vegetação, onde o Homem teve forte intervenção, nomeadamente no uso do fogo (ALVES *et al.*, 2006).

Já nos séculos XV e XVI assistiu-se ao declínio das matas nacionais devido à grande procura de produtos lenhosos para a satisfação dos mercados urbanos, metalurgia, construção naval e consumo quotidiano de toda a população (DEVY-VARETA, 1986).

Nos últimos dois séculos, com o avanço técnico-científico e formação de técnicos especializados nas instituições de ensino superior, assistiu-se a uma melhoria do ordenamento florestal e muitas áreas foram florestadas (e.g. dunas litorais, baldios serranos, entre outros), sob políticas de gestão e proteção da floresta criadas, sobretudo, no último século (DEVY-VARETA, 2003). Porém, algumas das áreas arborizadas com algumas espécies são mais sensíveis à propagação dos fogos, como é o caso das áreas ocupadas com resinosas, espécies que são altamente inflamáveis devido à disponibilidade de resina (CERTINI *et al.*, 2011). Por outro lado, o grande êxodo rural que ocorreu nas últimas décadas do século passado originou o abandono agrícola, fator que favoreceu o avanço da vegetação natural e a ocupação destas áreas agrícolas por matos e floresta (DEVY-VARETA, 2003; POÇAS *et al.*, 2011). Refere-se também a redução da utilização da lenha como combustível doméstico (PEREIRA *et al.*, 2005) e o abandono das práticas culturais na manutenção da floresta (SHAKESBY *et al.*, 1996), como fatores que conduziram à acumulação de combustível disponível para a ocorrência de incêndios florestais de grande extensão, mas também no aumento da sua frequência (quando conjugados com outros fatores como, por exemplo, as alterações climáticas, vagas de elevadas temperaturas, etc.), evidenciando-se desta forma como os principais eventos catastróficos, responsáveis pelas grandes perdas florestais que se têm verificado no território português (SIFAKIS *et al.*, 2004; PEREIRA *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2011).

De referir ainda que a vegetação mediterrânea nativa promove a elevada intensidade e rápida propagação dos incêndios, devido à acumulação de restos de vegetação morta que se decompõem

lentamente (ramos e folhas), à elevada área superficial ocupada por muitas plantas relativamente ao seu volume (fator que proporciona a sua secagem muito rápida) e, também, pela abundância de compostos voláteis (SHAKESBY *et al.*, 1996; LLORET e MARÍ, 2001; SHAKESBY, 2011).

Em Portugal Continental houve aumento da ocupação do solo por floresta ao longo das últimas décadas, resultado do abandono de solos agrícolas e consecutivo avanço da vegetação natural sobre as mesmas (DGT, 2013a). A região Centro é a que apresenta maior área ocupada por floresta entre 1980 e 2010, seguindo-se as regiões Norte e Alentejo (Quadro 1.1). As regiões do Algarve e Lisboa são as que apresentam menor área com este tipo de ocupação, evidenciando-se a última pela redução de área florestal entre os dois momentos anteriormente referidos devido à artificialização do solo (tecido urbano contínuo e descontínuo) e à desflorestação para a prática da agricultura.

Quadro 1.1. Área florestal nas várias regiões de Portugal Continental.

Região (NUT 2)	Área total (ha)	1980		1995		2010	
		Área* (ha)	Área (%)	Área* (ha)	Área (%)	Área* (ha)	Área (ha)
Norte	2128403,44	718826,71	33,77	731406,15	34,36	770256,35	36,19
Centro	2819993,68	1276885,70	45,28	1276642,12	45,27	1307234,56	46,36
Lisboa	294021,31	74558,05	25,36	66115,61	22,49	62911,24	21,40
Alentejo	3155108,70	663665,02	21,03	732565,47	23,22	840321,68	26,63
Algarve	499607,98	104400,61	20,90	106703,43	21,36	127418,09	25,50
Portugal Continental	8897135,11	2881107,87	32,38	2982880,67	33,53	3171969,11	35,65

*Área estimada a partir de amostras de uso e ocupação do solo. Fonte: DGT (2013b).

1. 3. OS INCÊNDIOS FLORESTAIS

No contexto em que se insere esta dissertação é importante abordar os conceitos de “fogo” e de “incêndio florestal”.

Os processos de inflamação e combustão requerem a existência de três fatores (VERGNOUX *et al.*, 2011): combustível, comburente (oxigénio) e calor ou fonte de ignição (Figura 1.3).

Segundo FERNANDES e REGO (2010) as espécies vegetais e a sua biomassa com aptidão para arder constituem o designado combustível, sendo a energia nele contida a base de sustentação da combustão e da propagação do fogo. Segundo estes autores, o processo de combustão divide-se em três fases:

- 1) Pré-aquecimento (evaporação da humidade do combustível a temperaturas superiores a 100°C, volatilizando os compostos a temperaturas superiores a 200°C, do qual resulta a decomposição térmica da celulose, originando-se a chama com a inflamação destes gases em combinação com o oxigénio a temperaturas entre 300 e 400°C);
- 2) Combustão com a chama (sucede à ignição e depende da humidade do combustível);
- 3) Combustão sem chama (oxidação superficial onde o carbono é queimado como um sólido).



Figura 1.3. Triângulo do Fogo.

Para CARVALHO e LOPES (2001) um incêndio é a combustão não limitada no tempo e no espaço, que ao atingir uma área florestal (arborizada¹ ou inculta²), designa-se por incêndio florestal. Estes eventos, também conhecidos por processos dendrocaustológicos, resultam da conjugação de um misto de fatores de natureza física (condições meteorológicas, geomorfológicas e silvícolas) e humana (comportamentos sociais, usos despropositados e má gestão dos espaços florestais e agrícolas) (LOURENÇO *et al.*, 2003; LOURENÇO, 2004). A intensidade dos incêndios irá depender do tipo e estado do combustível, temperatura do ar, velocidade do vento e topografia da área (CERTINI, 2005).

Os incêndios florestais são eventos que causam elevadas perturbações nos ecossistemas florestais e podem provocar alterações geomorfológicas e hidrológicas substanciais (SHAKESBY e DOERR, 2006; SMITH *et al.*, 2011b, 2011b). Destes resulta a perda da cobertura vegetal, fator que interfere na forma como a água circula nas vertentes (MENESES, 2012), e uma vasta quantidade de cinzas derivadas da combustão do material florestal.

Segundo PIO *et al.* (2006), estes eventos afetam o ambiente em vários níveis, dependendo do tipo de poluente e quantidades emitidas, destacando-se os maiores impactes na saúde humana, clima, ecossistemas e na química da atmosfera. Estes autores descrevem alguns compostos que afetam a saúde do Homem, como por exemplo o material particulado, as dioxinas, furanos, compostos orgânicos voláteis, monóxido de carbono, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), entre outros. Além destes grandes efeitos, estes também referem a reduzida investigação nos efeitos de “menor impacto”, em particular a perda de nutrientes do solo, contaminação de aquíferos, perda de visibilidade atmosférica, entre outros.

¹ “...Área ocupada com espécies arbóreas florestais, desde que estas apresentem um grau de coberto igual ou superior a 10% e ocupem uma área igual ou superior a 0,5 ha...” (CARVALHO e LOPES, 2001, p.7).

² “...Terreno coberto com lenhosas ou herbáceas de porte arbustivo (mato), de origem natural, que não tem utilização agrícola nem está arborizado, podendo, contudo, apresentar alguma vegetação de porte arbóreo mas cujo grau de coberto seja inferior a 10%...” (CARVALHO e LOPES, 2001, p.7).

Em alguns estudos recentes tem-se referido que os incêndios florestais têm causado a redução da qualidade do ar, devido às elevadas emissões de poluentes para a atmosfera. Porém, também já se vai reconhecendo o impacte destes eventos nos solos, sobretudo as perdas e trocas de nutrientes que afetam a produtividade dos mesmos (CARTER e FOSTER, 2004) e na redução da qualidade da água (ALEXANDER *et al.*, 2004; SHERIDAN *et al.*, 2004; ANGELER e MORENO, 2006; SMITH *et al.*, 2011a). Estes processos de degradação, tanto do solo, como da água, são mais evidentes imediatamente após a ocorrência do incêndio (THOMAS *et al.*, 1999; FERREIRA *et al.*, 2008; MENESES, 2013a, b), sobretudo enquanto não se processa a regeneração do coberto vegetal e quando neste período ocorre precipitação capaz de gerar escoamento.

Durante o incêndio, os nutrientes incorporados na vegetação (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn) e no solo perdem-se através de vários processos, nomeadamente por volatilização durante a combustão, mineralização pela oxidação ou através da convecção das cinzas (BAKER, 1988), sendo que a disponibilidade destes nutrientes está dependente do tipo de vegetação e temperatura atingida durante a sua combustão (SOTO e DIAZ-FIERROS, 1993). Já após o incêndio, os nutrientes contidos na cinza são redistribuídos pelo vento ou lixiviados pela água (MENESES, 2013). BAKER (1988) também refere que os nutrientes metálicos (Ca, Mg e K) são convertidos em óxidos e depositados como cinzas na superfície do solo, sendo estes relativamente insolúveis até reagirem com o CO₂ e H₂O. Após estas reações, estes óxidos são convertidos em sais de bicarbonato, tornando-se assim mais suscetível a sua perda através da escorrência superficial da água da precipitação e por lixiviação, por serem elementos relativamente mais solúveis.

1. 3. 1. O CASO DE PORTUGAL

Portugal apresenta as condições ideais para a ocorrência de incêndios florestais, sobretudo devido às condições edafo-climáticas, tipo de revestimento vegetal e relevo (FERREIRA *et al.*, 2010b). Como refere PYNE (2006, p.7) “...o risco de fogo na vegetação é uma inevitabilidade do clima mediterrânico... em cada ano, passamos por um ciclo em que o Inverno chuvoso permite uma elevada produtividade das plantas, isto é, a acumulação de combustível e quando chega o Verão, quente e seco, quase sempre existe combustível em abundância a que apenas falta uma qualquer faísca na altura certa para irromper em chamas...”.

As alterações climáticas também têm sido referidas como uma das causas no aumento da ocorrência de incêndios florestais e da área queimada, sobretudo devido à frequência e duração de períodos extremamente quentes e secos (FERREIRA *et al.*, 2010b).

As áreas ardidas em Portugal Continental têm vindo a aumentar, conforme se pode observar no gráfico da Figura 1.4. Este gráfico também demonstra a desigualdade de área ardida entre os vários anos considerados, sobressaindo os anos da última década com mais área ardida. Contudo observou-se entre 2006 e 2008 uma redução de área ardida, mas aumentou nos anos seguintes.

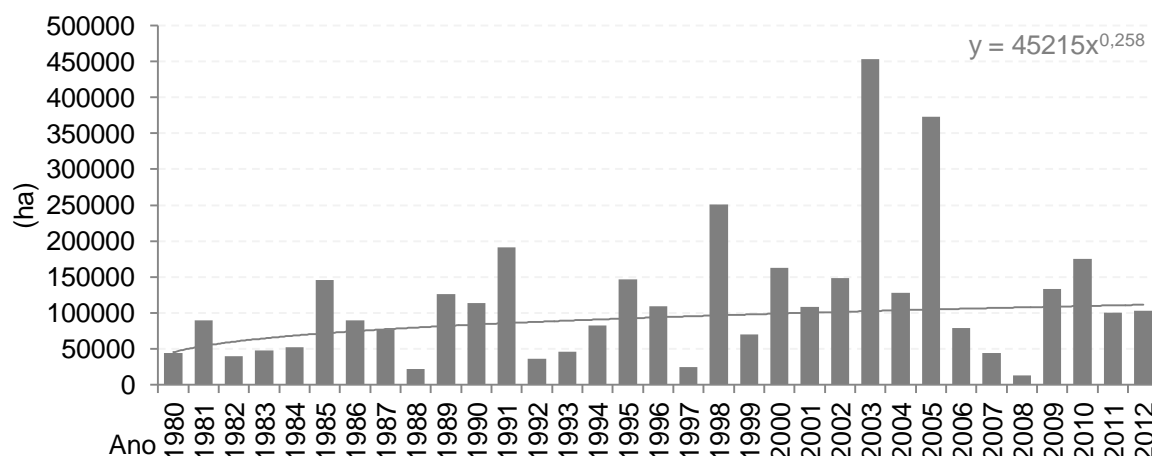


Figura 1.4. Área ardida em Portugal Continental entre os anos de 1980 e 2012.

Fonte dos dados: 1980 a 1989 da ex-DGRF (Direção Geral dos Recursos Florestais - MADRP); 1990 a 2012 do ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e Florestas).

Analisando o Quadro 1.2 com as áreas ardidas por região (NUT II), verifica-se que as regiões Norte e Centro são as que apresentam maior área queimada para os anos apresentados, destacando-se a primeira pelo aumento de área ao longo destes anos. Pela análise da distribuição espacial das áreas ardidas representadas no mapa da Figura 1.5 evidenciam-se estas regiões pela área ardida, embora na Região do Algarve também se tenha observado bastante área ardida. As duas primeiras regiões anteriormente referidas destacam-se também pela elevada ocupação florestal conforme se referiu anteriormente, facto que pode explicar a elevada área ardida comparativamente às restantes regiões em análise.

Quadro 1.2. Área ardida por região (NUT II) nos anos de 1981, 1991, 2001, 2011.

NUT II	Área Total (ha)	Norte	Centro	Lisboa	Alentejo	Algarve
		2128403,44	2819993,68	294021,31	3155108,7	499607,98
Área ardida em 1981	Área Total (ha)	28520	50234	1703	7073	2267
	NUT II (%)	1,34	1,78	0,58	0,22	0,45
	Portugal Cont. (%)	0,32	0,56	0,02	0,08	0,03
Área ardida em 1991	Área Total (ha)	33452	134241	392	13179	9625
	NUT II (%)	1,57	4,76	0,13	0,42	1,93
	Portugal Cont. (%)	0,38	1,51	0,00	0,15	0,11
Área ardida em 2001	Área Total (ha)	52791	47989	662	3973	3377
	NUT II (%)	2,48	1,70	0,23	0,13	0,68
	Portugal Cont. (%)	0,59	0,54	0,01	0,04	0,04
Área ardida em 2011	Área Total (ha)	69923	29219	446	1178	0
	NUT II (%)	3,29	1,04	0,15	0,04	0,00
	Portugal Cont. (%)	0,79	0,33	0,01	0,01	0,00

Fonte dos dados: 1981 da ex-DGRF (Direção Geral dos Recursos Florestais - MADRP); 1991, 2001 e 2011 do ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e Florestas).

Segundo os dados das áreas ardidas apresentados no Quadro 1.3, entre 1980 e 2012 arderam mais de 3 milhões de hectares de floresta em Portugal Continental. O ano de 2003 foi extremamente severo relativamente à ocorrência de incêndios florestais, onde cerca de 5% do território continental foi afetado. Neste ano, a combinação de vários fatores como as elevadas temperaturas (onda de calor), elevada velocidade do vento e pouca humidade do ar, proporcionaram a ignição de vários incêndios florestais, originando uma grande proporção de área ardida, sobretudo nas regiões Centro e Sul do país (SHAKESBY, 2011).

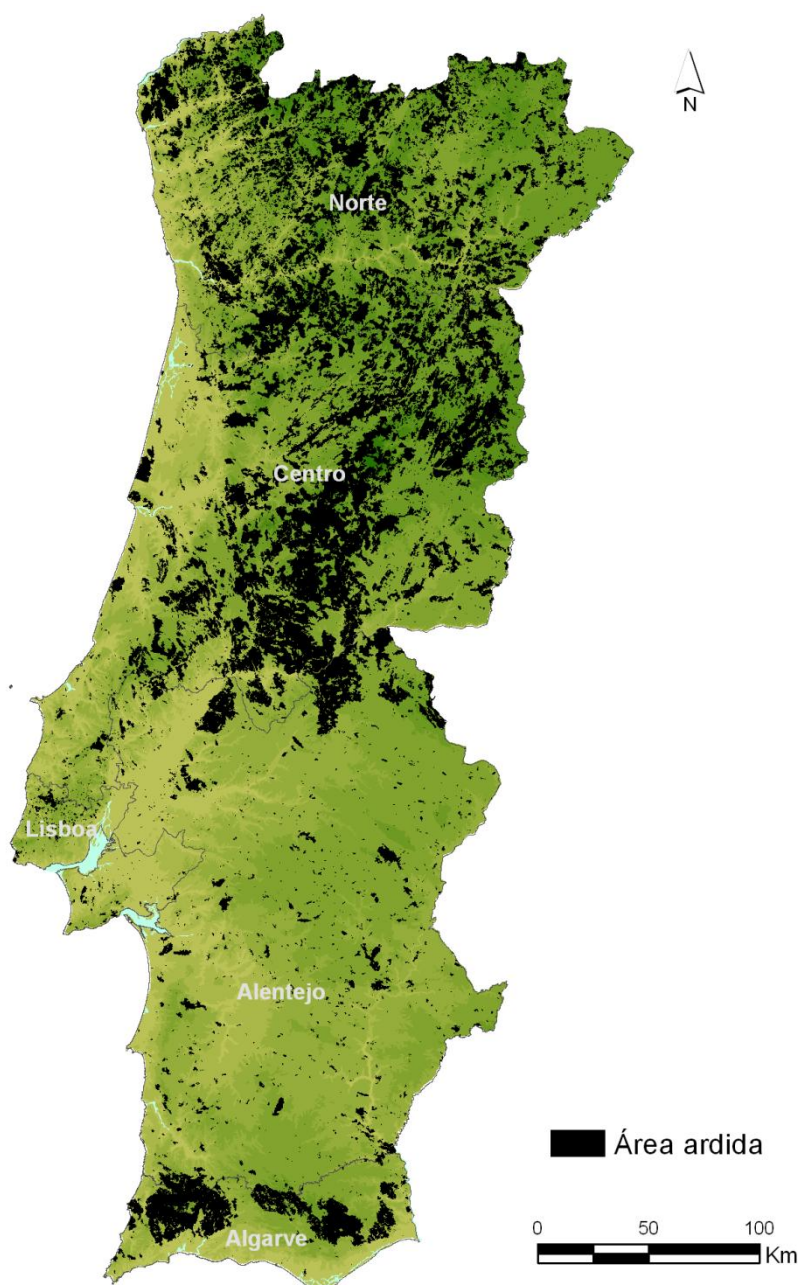


Figura 1.5. Áreas ardidas em Portugal Continental entre 1990 e 2012.
Mapa elaborado a partir de informação geográfica disponibilizada pelo ICNF.

Considerando a área ardida anualmente entre 1980 e 2012 (Quadro 1.3), obteve-se para este período o total de 3827957 ha, correspondendo esta área a cerca de 43% da área de Portugal Continental. Contudo, nas áreas ardidas anualmente certamente houve reincidências, i.e., algumas áreas foram queimadas mais de uma vez durante o período anteriormente referido.

Quadro 1.3. Total de área ardida entre 1980 e 2012 em Portugal Continental e alguns parâmetros climáticos.

Fonte de dados dos incêndios	Ano	N.º de ocorrências	Área ardida (ha)	Área de Portugal Cont.	N.º de dias c/ onda de calor*	N.º de dias* sem chuva	P Total Anual* (mm)	Temperatura máxima do ar* (média anual)	Temperatura média do ar* (média anual)
ex-DGRF / MADRP	1980	2349	44251	0,5	1,9	251,7	633,8	20,5	15,4
	1981	6730	89798	1,0	12,1	260,3	711,6	21,2	16,0
	1982	3626	39556	0,4	1,9	267,4	697,5	20,4	15,4
	1983	4539	47811	0,5	6,6	251,1	831,3	20,4	15,5
	1984	7356	52710	0,6	1,7	232,0	872,6	20,0	15,1
	1985	8441	146254	1,6	7,4	250,9	859,7	20,6	15,6
	1986	5036	89522	1,0	0,0	244,0	730,4	20,0	15,1
	1987	7705	76269	0,9	11,1	227,7	1041,7	20,8	16,0
	1988	6131	22434	0,3	2,6	235,9	820,0	20,4	15,5
	1989	21896	126237	1,4	7,1	238,9	1126,4	21,2	16,4
ICNF	1990	10745	113438	1,3	5,6	255,1	694,2	21,0	16,0
	1991	14327	190889	2,1	15,0	253,1	660,9	20,6	15,7
	1992	14954	36169	0,4	11,6	266,0	596,2	20,6	15,6
	1993	16101	46251	0,5	0,0	236,6	815,1	19,6	14,9
	1994	19983	82181	0,9	6,9	252,3	770,2	20,6	15,7
	1995	34116	146585	1,6	19,4	249,7	899,3	21,7	16,8
	1996	28626	109162	1,2	4,7	225,4	1225,6	20,3	15,6
	1997	23497	24784	0,3	24,6	234,4	1114,3	21,3	16,6
	1998	34676	251192	2,8	9,0	258,6	645,6	21,0	16,1
	1999	25477	70142	0,8	11,4	250,0	845,9	20,5	15,6
	2000	34109	162635	1,8	9,1	237,1	1045,0	20,6	15,8
	2001	26947	108792	1,2	10,4	244,6	1050,1	20,5	15,8
	2002	26576	148163	1,7	10,1	233,7	993,5	20,6	15,9
	2003	26219	453580	5,1	9,9	241,9	974,9	20,9	16,2
	2004	22165	127600	1,4	5,9	265,3	578,8	20,9	15,9
	2005	35823	373027	4,2	7,9	276,3	514,3	21,1	16,0
	2006	20444	78903	0,9	13,4	250,7	967,0	21,2	16,4
	2007	20316	44059	0,5	2,4	270,7	532,8	20,7	15,7
	2008	1493	12794	0,1	0,9	252,1	710,6	20,5	15,5
	2009	26136	133484	1,5	10,1	246,6	859,2	21,2	16,3
	2010	22027	175549	2,0	4,4	234,9	1155,0	20,7	16,0
	2011	25221	100765	1,1	17,6	259,9	831,4	21,6	16,5
	2012	21176	102972	1,2	12,1	258,2	721,4	20,8	15,7

Fonte dos dados climáticos: PORDATA; Instituto Nacional de Estatística.

*Média dos valores registados nas estações meteorológicas de Viana do Castelo, Bragança, Porto, Castelo Branco, Lisboa, Beja e Faro (mais informações sobre estes dados no Portal PORDATA).

Considerando os valores das áreas ardidas apresentados no Quadro 1.3 verificou-se fraca correlação com o n.º de dias com onda de calor, n.º de dias sem chuva e com a precipitação total anual (0,16, 0,11 e 0,02 respetivamente), mas a correlação aumenta quando se considera a temperatura máxima

do ar ou a temperatura média do ar (0,32 e 0,34 respetivamente). Já entre o n.º de ocorrências e as áreas ardidas a correlação é mais elevada (0,56), evidenciando-se também a correlação existente entre estas ocorrências com a temperatura média do ar (0,56). Estes resultados indicam que quanto mais elevadas são as temperaturas maior é o n.º de incêndios florestais.

1. 3. 2. ELEMENTOS RESULTANTES DE INCÊNDIOS FLORESTAIS DISPONÍVEIS À SUPERFÍCIE DO SOLO

O fogo tem vários efeitos no solo, conforme referido em FERREIRA *et al.* (2010b): efeitos diretos, devido à ação do calor sobre a componente orgânica (mineralização da matéria orgânica), e efeitos indiretos, devido ao desaparecimento da proteção proporcionada pelo coberto vegetal e folhada (maior suscetibilidade do solo à erosão hídrica e alteração no regime hidrológico). Estes autores referem que estes processos físicos (erosão do solo) estão diretamente relacionados com a alteração da estrutura do solo e têm um papel relevante na exportação de nutrientes, causando assim repercussões a jusante das áreas ardidas, sobretudo devido ao movimento da água na superfície, um agente com boa capacidade de transporte de sedimentos e solutos.

Neste contexto é importante perceber o comportamento do fogo, admitindo a severidade e intensidade ou comprimento da chama do fogo nos incêndios florestais. Segundo FERNANDES e REGO (2010) estes conceitos não são sinónimos, o primeiro refere a grandeza do impacte direto e imediato do fogo, refletindo o calor total libertado pela combustão da biomassa; enquanto o segundo, contribui apenas para a severidade, explicando-a parcialmente, i.e., está relacionada com a possibilidade de fogo de copas, com o fogo superar descontinuidades, com a distância de segurança à frente das chamas, ou mesmo com problemas de controlo devido à projeção de faúlhas. PEREIRA *et al.* (2012) referem várias metodologias de diversos autores para a avaliação da severidade do fogo, entre elas a medição do diâmetro dos ramos afetados pelo fogo após o incêndio, relação das propriedades do solo e sua cor, grau de trocas na matéria orgânica do solo, estrutura do solo, oxidação do ferro do solo, hidrofobia do solo e reflectância do solo. Esta reflectância permite a utilização de técnicas de deteção remota (recurso a imagens de satélite) para a medição do infravermelho próximo, ou observação de fotografias aéreas, na determinação da severidade do fogo.

Conforme referido por BENTO-GONÇALVES *et al.* (2012), da intensidade do fogo e tempo de permanência resulta a maior ou menor severidade das suas consequências, sendo esta a resposta dos ecossistemas ao fogo, mas também pode ser utilizada para descrever os efeitos causados pelo fogo no solo, nos sistemas hidrológicos, na fauna e flora, na atmosfera e na sociedade. DEBANO *et al.* (1998) subdividem a severidade do fogo nas seguintes classes:

- a) Baixa severidade quando na área total afetada, menos de 2% é severamente queimada, menos de 15% é moderadamente queimada e a restante área pouco afetada ou sem efeitos resultantes do fogo;

- b) Moderada severidade se, da área total afetada, até 10% for severamente queimada, 15% moderadamente queimada e a restante pouco afetada;
- c) Elevada severidade se mais de 10% da área total afetada for severamente queimada e mais de 80% é fortemente ou moderadamente queimada, e a restante área pouco afetada.

As cinzas ou resíduos inorgânicos produzidos pelo fogo na oxidação da matéria orgânica, são um bom indicador da severidade do fogo (BENTO-GONÇALVES *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2012). As diferentes tonalidades da cinza resultantes da combustão da biomassa refletem a severidade do fogo, sendo estas gradualmente mais claras à medida que aumenta a temperatura da combustão, variando as tonalidades consoante o tipo de biomassa existente no local do incêndio (ÚBEDA e OUTEIRO, 2009).

Nas imagens da Figura 1.6 podem observar-se os efeitos resultantes da combustão da matéria orgânica e da biomassa existentes na superfície do solo de uma vertente do Planalto de Cezaredas.

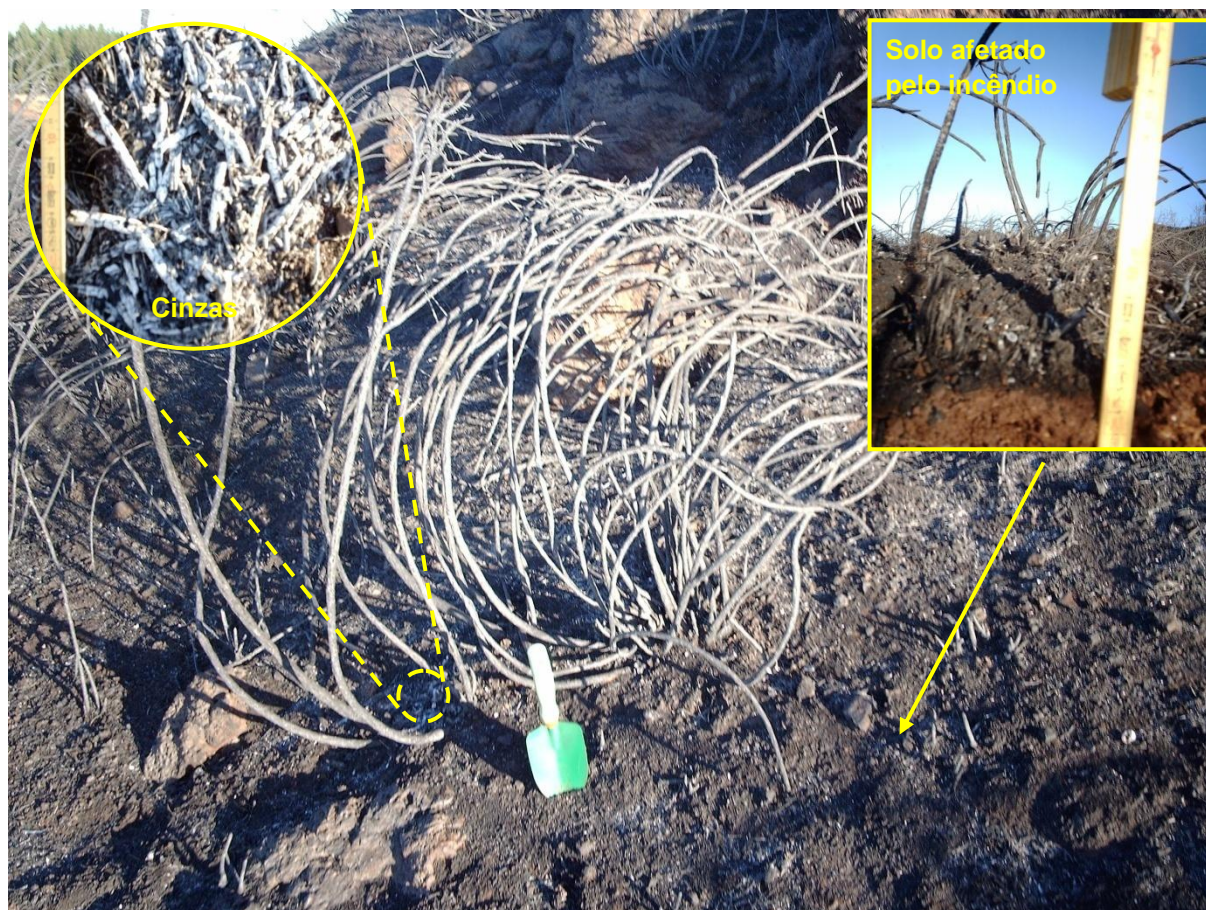


Figura 1.6. Exemplo de uma área severamente queimada no Planalto de Cezaredas (19/07/2012).

Desta combustão resultou cinza com tonalidade branca e a exposição total do solo, o que reflete a elevada severidade do fogo neste incêndio. Nestas imagens também se pode observar que o solo é afetado em profundidade pelo calor produzido durante a combustão, mais visível no horizonte

superficial, devido à redução da temperatura em profundidade por este apresentar, em geral, má condutividade térmica (NEARY *et al.*, 1999, NEARY *et al.*, 2005). Assim, as propriedades químicas e físicas do solo nesse horizonte superficial são as mais afetadas pelo fogo (MCINTOSH *et al.*, 2005).

Entre 180° e os 200°C acontece a combustão da manta morta e a destilação de compostos orgânicos voláteis associados, entre os 180° e os 300°C ocorre a destilação e a combustão de cerca de 85% desta manta morta e a partir dos 300°C todo o horizonte orgânico superficial do solo é praticamente destruído (FERREIRA *et al.*, 2010b).

Da combustão do material florestal resultam a emissão de dioxinas para a atmosfera (compostos posteriormente depositados no solo, águas e vegetação) e cinzas que ficam maioritariamente depositadas na superfície do solo queimado (Figura 1.7), sendo estas caracterizadas também pelos elevados níveis de dioxinas (PIO *et al.*, 2006). As propriedades destas cinzas têm sido amplamente estudadas, visto serem uma importante fonte de nutrientes essenciais para a recuperação dos ecossistemas afetados pelos incêndios florestais (PEREIRA *et al.*, 2011) como, por exemplo, o potássio, fósforo e cálcio (CATRY *et al.*, 2010).



Figura 1.7. Cinzas depositadas na superfície do solo resultantes do incêndio florestal ocorrido no Planalto de Cezaredas (19/07/2012).

As cinzas resultantes da queima da biomassa são ricas em nutrientes (anteriormente imobilizados nas plantas), daí serem muito utilizadas no passado para a agricultura e na regeneração de pastagens, através de queimadas feitas propositadamente (ALVES *et al.*, 2006). Segundo FERREIRA *et al.* (2010b) a matéria orgânica é mineralizada pelo fogo, fazendo com que os nutrientes fiquem temporariamente disponíveis para as plantas sob a forma de sais dissolvidos na solução de solo, proporcionando um pH muito alcalino, geralmente superior a 8,5. Estes autores referem também que o período desta disponibilidade dos nutrientes para as plantas é relativamente curto, devido à facilidade com que estes são arrastados, tanto em profundidade, como pela escorrência superficial, causando a redução da qualidade da água a jusante. No entanto, estes efeitos dependem da temperatura que o solo atinge e sua condutividade térmica, das características do combustível e das condições meteorológicas de quando ocorreu o incêndio. Refere-se ainda a mobilização de uma parte destas cinzas disponíveis na superfície dos solos através do vento.

Dos incêndios florestais resultam grandes emissões de gases e partículas para a atmosfera e pelo transporte em suspensão, estes elementos (solúveis e não solúveis) podem ser depositados nos solos, vegetação e/ou corpos de água (YAMASOE *et al.*, 2000). Esta deposição atmosférica proporciona a reposição de nutrientes no solo e desta forma minimiza as perdas que ocorrem através da escorrência superficial.

Nos solos onde ocorreram incêndios há outros processos que podem conduzir ao aumento da escorrência superficial, em particular a hidrofobia na camada superficial (ICE *et al.*, 2004; KNAPP *et al.*, 2009). A repelência da água (Figura 1.8) é proporcionada por substâncias hidrofóbicas geradas a partir da combustão da matéria orgânica à superfície³ e pelo aquecimento das partículas minerais (DEBANO, 2000a,b; DOERR e THOMAS, 2000; 2001; DOERR *et al.*, 2009; NEARY *et al.*, 2009).



Figura 1.8. Repelência da água em solos onde ocorreram incêndios florestais.

Fonte: imagem à esquerda - NEARY *et al.* (2009, p. 2277); as fotografias ao centro e à direita foram tiradas numa vertente queimada do Planalto de Cezaredas.

³ O calor produzido pela combustão nesta camada superficial pode alcançar os 850 a 1100°C (JARAMILLO, 2006).

A força da hidrofobicidade é controlada por diversos fatores, destacando-se a severidade do fogo, o tempo que este demorou a oxidar o combustível (corresponde ao tempo de residência, segundo KNAPP *et al.*, 2009) ou, o tipo de combustível (e.g. vegetação herbácea, arbustiva, ou arbórea de diferentes espécies) e a textura do solo (HUFFMAN *et al.*, 2001). Considerando a relação entre a temperatura e a repelência da água, quando esta é inferior a 175°C, a repelência é reduzida; já entre os 175 e 200°C, esta é muito intensa; em temperaturas superiores a 200°C, há destruição de quase todos os compostos hidrofóbicos, fator que proporciona a redução da repelência (DEBANO, 2000b; JARAMILLO, 2006).

1. 4. POLUIÇÃO DOS CURSOS DE ÁGUA SUPERFICIAIS POR INERTES RESULTANTES DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

Como refere BAKER (1988), de todos os recursos naturais existentes à superfície da Terra, a água é provavelmente o recurso mais sensível aos distúrbios causados na vegetação e no solo, visto haver alterações na sua disponibilidade no tempo e na quantidade (MENESES *et al.*, 2013; SARAIVA *et al.*, 2013), nos parâmetros físicos (e.g. temperatura, teor de sedimentos, oxigênio dissolvido, entre outros) e nas componentes biológica e química.

A redução da qualidade da água deve-se sobretudo à sua poluição, com maior relevo nas águas superficiais (PEREIRA *et al.*, 2002; ANGELER e MORENO, 2006). Na União Europeia, esta temática tem despertado alguma preocupação, o que tem desencadeado a proliferação de medidas para a manutenção da sua qualidade (e.g. EU, 1998). Nas coordenadas da política comunitária da água destaca-se a Diretiva-Quadro da Água n.º 2000/60/CE (EU, 2000) onde se realça a proteção das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas (ROCHA, 2009). Segundo a diretiva 98/83/CE (EU, 1998), a água destinada ao consumo humano deve ser salubre e limpa, considerada de qualidade quando não contiver microrganismos, parasitas nem quaisquer substâncias em quantidades ou concentrações que constituam um perigo potencial para a saúde humana, devendo para isso respeitar-se os parâmetros microbiológicos e químicos especificados na mesma.

Em muitos casos, a degradação da água está associada à descarga de efluentes industriais e urbanos (TELANG, 1990; PHAM *et al.*, 1999) e também à agricultura intensiva, devido à intensa utilização de agroquímicos (nitratos e produtos fitofarmacêuticos), elementos facilmente transportados pela água das regas e da precipitação para os aquíferos e cursos de água (superficiais e subterrâneos), resultando por vezes a sua contaminação (DRAEDM, 1999; NEUMANN *et al.*, 2002; PEREIRA *et al.*, 2002; ROZEMEIJER *et al.*, 2010). No entanto, os incêndios florestais também se evidenciam na redução da qualidade da água (física e química), pela quantidade de poluentes libertada (fonte de poluição) e pelo fácil transporte dos mesmos até aos cursos de água (ERIKSSON *et al.*, 2003; ALEXANDER *et al.*, 2004; PIO *et al.*, 2006; FERREIRA *et al.*, 2010a,b; SMITH *et al.*, 2011c).

Alguns autores têm vindo a estudar a diminuição da qualidade da água após a ocorrência dos incêndios florestais, destacando-se a investigação da degradação física, conforme os exemplos apresentados no quadro do Anexo 1. Também há estudos onde são referidos alguns efeitos dos incêndios na constituição química da água, dando-se como exemplo o caso de estudo apresentado por ERIKSSON *et al.* (2003), onde são referidos os impactes resultantes do incêndio florestal que ocorreu no Parque Nacional de Tyresta (Suécia) sobre a água dos ribeiros que circulam pela área queimada e na água dos lagos a jusante da mesma, onde estes autores observaram mudanças drásticas na química da água imediatamente após a ocorrência do incêndio, nomeadamente a variação do pH e o aumento de determinados metais e nutrientes, como é o caso do potássio, sódio, zinco, manganês e cádmio, que segundo estes, deve-se à libertação de hidrogénio e iões de alumínio por meio da combustão da matéria orgânica do solo acidificado e à utilização de grandes quantidades de água salobra nas operações de combate ao incêndio.

A previsão do arrastamento de poluentes nos cursos de água constitui um problema, porque as fontes e taxas de geração dos mesmos é variável e, geralmente, os dados recolhidos são feitos de forma pontual no território, o que dificulta a modelação da mobilização ou fluxo dos mesmos até esses cursos (LANE *et al.*, 2011).

Os incêndios florestais em Portugal são um dos fenómenos com maior impacto ambiental, sobretudo pela acentuação de processos hidrológicos e erosivos (SHAKESBY *et al.*, 1996), refletindo-se estes também na perda de qualidade da água, pela conectividade existente entre os processos que ocorrem nas vertentes e os cursos de água (FERREIRA *et al.*, 2010b).

A continuidade/descontinuidade dos processos que ocorrem nas vertentes e nos cursos de água pode variar consoante o uso do solo na bacia hidrográfica afetada por incêndios florestais. Destaca-se por exemplo as “zonas tampão” (e.g. vegetação ripícola) nas áreas a jusante pela interrupção da transferência de sedimentos e água entre as vertentes ardidas e os cursos de água, conforme o modelo conceitual de escoamento apresentado por FERREIRA *et al.* (2008) (Figura 1.9).

Como referido anteriormente, os incêndios são responsáveis pela remoção de toda a camada vegetal que protege o solo. Com a perda desta proteção, diminui a interceção da precipitação, aumentando desta forma a quantidade de água disponível para o escoamento e em paralelo o incremento da sua velocidade, decréscimo da evapotranspiração com aumento do fluxo de base, redução da infiltração e aumento da escorrência superficial (GOTTFRIED e DEBANO, 1990; MOODY e MARTIN, 2001; SHAKESBY e DOERR, 2006). Após a passagem do incêndio florestal, a camada hidrófoba do solo e a camada hidrófila subjacente condicionam os processos hidrológicos e erosivos, havendo uma drástica redução da capacidade de infiltração na primeira camada e o favorecimento da escorrência superficial, proporcionando a fácil mobilização da camada de cinzas hidrofílicas, i.e., erosão de uma importante fonte de nutrientes (FERREIRA *et al.*, 2010b).

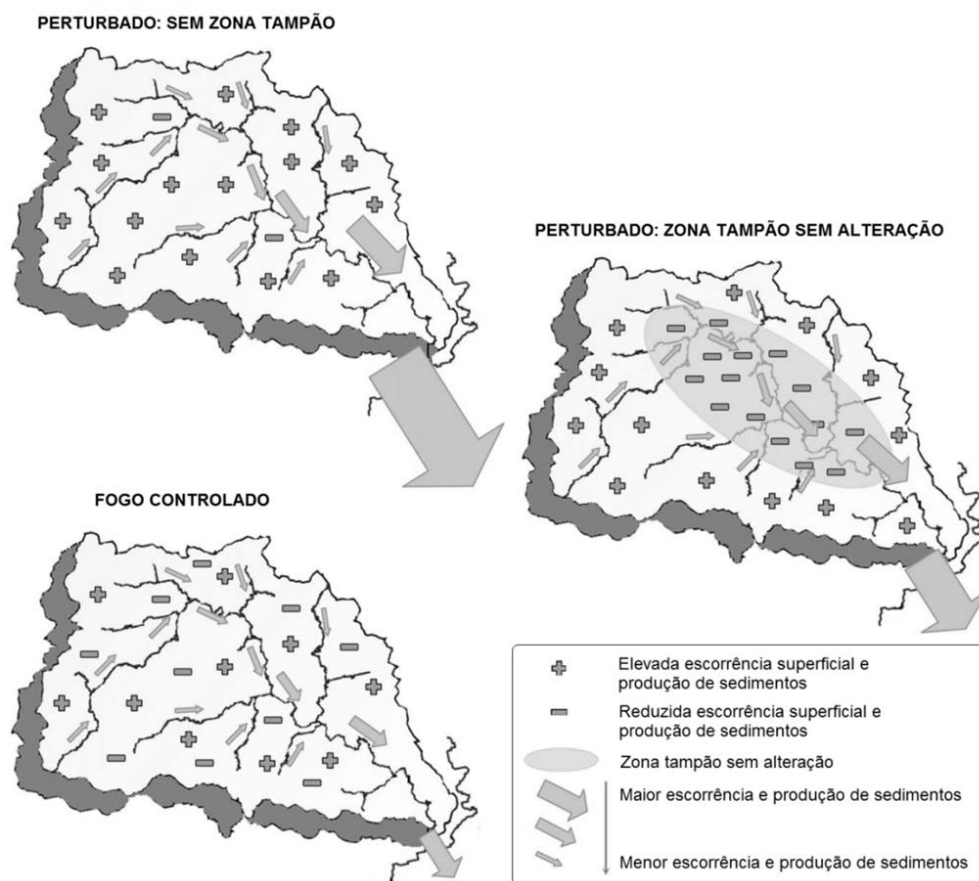


Figura 1.9. Escoamento em bacias hidrográficas ardidas.

Fonte: adaptado de FERREIRA *et al.* (2008).

Das várias formas de circulação de água nas vertentes (Figura 1.10), destaca-se a escorrência superficial, pelo transporte de sedimentos de solo e cinzas depositadas à superfície do solo resultantes da combustão da vegetação e matéria orgânica aqui presente. Quando a presença de partículas em suspensão na água é muito elevada, tanto em flutuação, como dispersas, reflete-se na turbidez da mesma (LANDSBURG e TIEDEMANN, 2000).

Muita desta água que escorre pelas vertentes ardidas irá alimentar o escoamento superficial (ribeiras, rios), facilitando o transporte dos elementos anteriormente referidos para locais mais distantes das áreas ardidas (sentido jusante).

Os vários elementos resultantes da combustão da vegetação durante o incêndio podem ser transportados por via aérea (em suspensão), posteriormente depositados no solo ou em corpos de água (e.g. rios, lagos, ...); ou então transportados pela água do escoamento superficial e subterrâneo (depois de haver infiltração de água que caiu sobre as vertentes). Sob este ponto de vista, os cursos de água superficiais, por receberem maior quantidade de água do escoamento superficial (RAMOS, 2005), tornam-se mais vulneráveis à contaminação, sobretudo se receberem águas resultantes de escoamento com elementos resultantes dos incêndios florestais (ALEXANDER *et al.*, 2004). Como referem FERREIRA *et al.* (2010b, p.24) “...uma das consequências mais importantes da passagem

do fogo é a exportação de grandes quantidades de nutrientes, que poderá desencadear problemas de poluição a jusante, em especial se existirem barragens e captações de água muito próximas das áreas queimadas...”.

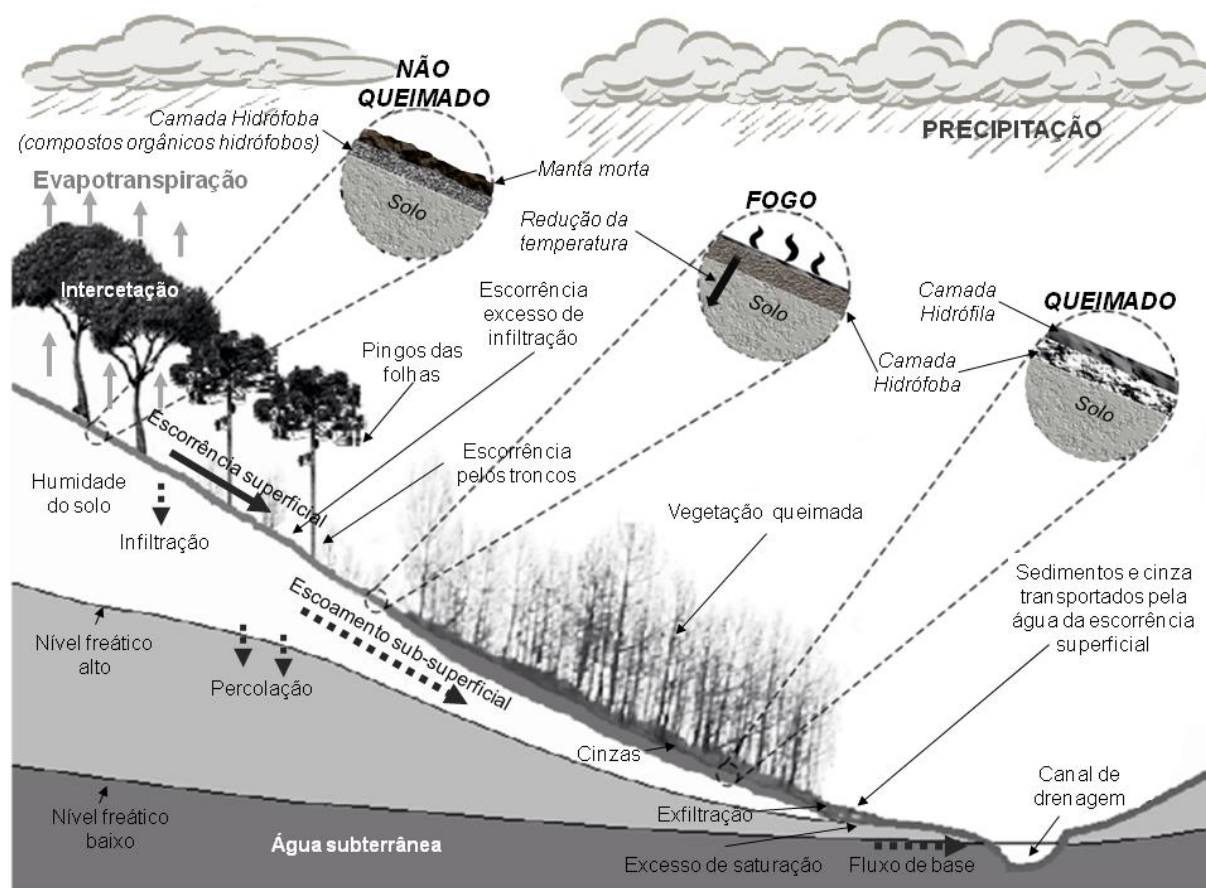


Figura 1.10. Modelo conceitual de circulação da água nas vertentes (adaptado de CLARK e SMALL, 1982) com representação do transporte de material da vertente queimada até ao canal de drenagem e, também, do processo de formação de camada hidrófoba (adaptado de DEBANO, 1990 e FERREIRA *et al.*, 2010b).

O transporte destes elementos disponíveis na superfície das vertentes faz-se através do escoamento da água resultante da precipitação nas vertentes. Esta água proveniente da chuva é um elemento com boa capacidade de transporte de materiais, considerando-se assim um dos principais agentes de transporte de nutrientes, sedimentos e outras partículas até aos cursos de água (ROXO, 1994; JOHNSON *et al.*, 1998; KIM *et al.*, 2008) e, também, o principal meio de contaminação destes cursos, quando há transporte de elementos resultantes dos incêndios florestais (ALEXANDER *et al.*, 2004; SMITH *et al.*, 2011c). Estes elementos podem ficar depositados em albufeiras (Figura 1.11) e desta forma aumentar a concentração de poluentes neste meio (aquático), causando perturbações no biota.

No meio aquático podem ocorrer outros processos, nomeadamente a eutrofização, devendo-se neste caso ao aumento da temperatura da água resultante do escoamento superficial e concentração de

determinados elementos químicos, afetando assim a cor, odor e sabor da água (LANDSBURG e TIEDEMANN, 2000).

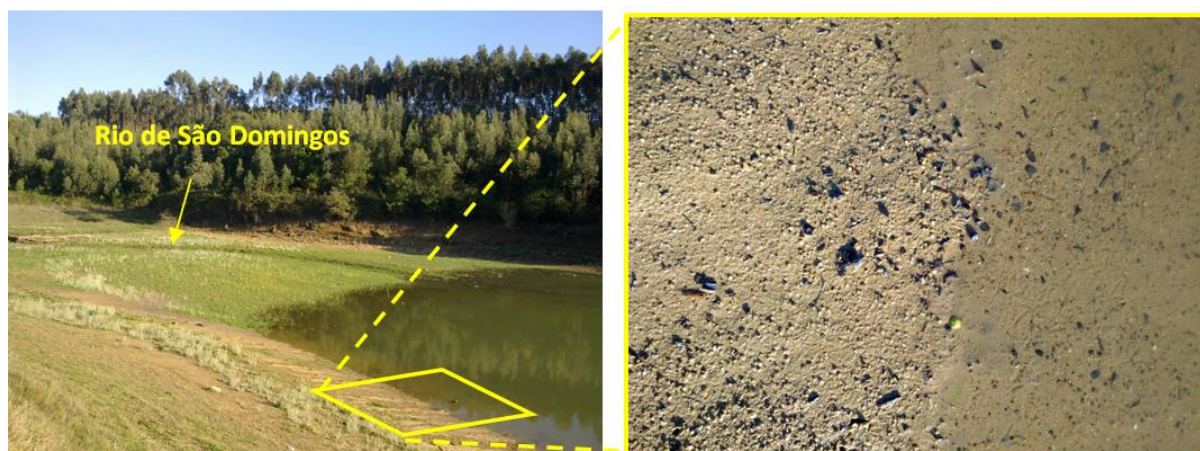


Figura 1.11. Partículas de carvão vegetal resultantes de combustão incompleta da vegetação transportadas pela água da Ribeira e Rio de São Domingos até à Barragem de São Domingos, onde se encontram depositadas (fotografia de 23/10/2012).

Segundo VASCONCELOS e MALCATA (2009) a água tem um papel importante no transporte de nutrientes essenciais, dividindo-se estes em quatro categorias:

- 1ª Categoria - engloba quatro minerais que funcionam como aniões ou grupos aniônicos: flúor (na forma de F^-), cloro (na forma de Cl^-), molibdénio (na forma de MoO_4^{2-}), e fósforo (na forma de PO_4^{3-});
- 2ª Categoria – compreende os minerais utilizados sob a forma catiónica: ferro (Fe^{2+}), zinco (na forma de Zn^{2+}), cálcio (na forma de Ca^{2+}), magnésio (na forma de Mg^{2+}), sódio (na forma de Na^+), potássio (na forma de K^+) e manganésio (na forma de Mn^{2+});
- 3ª Categoria – engloba o iodo (I) e o selénio (Se);
- 4ª Categoria – inclui cinco elementos: boro (B), crómio (Cr), níquel (Ni), silício (Si) e vanádio (V).

1. 5. OS INCÊNDIOS FLORESTAIS E A QUALIDADE DA ÁGUA

A água é um recurso essencial para a vida na Terra, sendo importante a sua disponibilidade, tanto em quantidade, como em qualidade, para o desenvolvimento humano e estabilidade ecológica (SREBOTNJAK *et al.*, 2012). Considerando a água utilizada para consumo doméstico, esta percorre vários caminhos, desde a precipitação que cai sobre as vertentes até chegar ao ponto final, onde será consumida. Neste percurso pode ocorrer a sua poluição por diversas fontes naturais ou antrópicas (BROWN, 2000), tornando-a imprópria para consumo, daí a importância da constante monitorização dos parâmetros de qualidade da água. Atualmente estes parâmetros já estão definidos de forma a

evitar situações que comportem risco para a saúde humana, tendo-se implementado já em alguns países instrumentos legais com os parâmetros indicadores a ser controlados e valores paramétricos, como é o caso de Portugal, onde já se transpôs para ordem jurídica a diretiva n.º 98/83/CE, do Conselho Europeu, de 3 de Novembro, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano (Anexo 2 e 3).

Os incêndios florestais afetam a qualidade da água, como anteriormente referido, mas estes efeitos variam consoante as diferentes características do incêndio (intensidade, severidade e processos ou tratamentos durante e pós-incêndio) e, também, do ambiente onde este ocorreu (declive das vertentes, coberto do solo, precipitação e temperatura) (FOWLER, 2003).

Segundo LANDSBURG e TIEDEMANN (2000) os efeitos mais visíveis após a remoção da camada vegetal ou material orgânico por estes eventos, são a erosão hídrica e ocorrência ou amplificação de cheias, o que causa o transporte em excesso de sedimentos (fonte de poluição difusa) e nutrientes, como é o caso dos nitratos (NO_3^-) e nitritos (NO_2^-), posteriormente depositados nos corpos de água. Estes autores referem que os fatores com maior impacto na redução da qualidade da água para consumo humano são: a turbidez ou turvação, o teor de sedimentos em suspensão na água, aumento de nutrientes no escoamento e o aumento da temperatura da água. Referem ainda que os constituintes químicos que causam maior preocupação, pela suscetibilidade que existe de estes serem transportados da área queimada até aos cursos de água, são os nitratos e nitritos; mas podem ocorrer outras alterações pela modificação de outros parâmetros, como é o caso da variação do pH, concentração de sulfato, cloreto, ferro, total de sólidos dissolvidos, entre outros componentes, com destaque para os fosfatos, compostos com elevados impactes na qualidade da água, pela sua capacidade de alteração da cor, odor e sabor (perda da qualidade da água para consumo humano), mas também por originar outros processos, como é o caso da aceleração da eutrofização da água.

A turbidez da água não tem efeitos diretos sobre a saúde humana, mas reflete a sua eventual poluição e pode favorecer o crescimento microbiano, em função do condicionamento da entrada de radiação na água (BESCHTA, 1990; LANDSBURG e TIEDEMANN, 2000; SCATENA, 2000).

Nos solos onde ocorreu um incêndio florestal, o pH aumenta geralmente durante o primeiro ano após a ocorrência do evento, facto já referido anteriormente. Já nos cursos de água, nomeadamente os superficiais que são afetados pela deposição direta das cinzas resultantes do incêndio e mais tarde pela água resultante da escorrência superficial proveniente da área queimada, há um ligeiro aumento do pH da água, porém, é difícil estabelecer uma associação direta entre esta variação e o incêndio (causa-efeito), por haver outros fatores que podem fazer variar o pH das águas em constante movimento nestes cursos ao longo do tempo (LANDSBURG e TIEDEMANN, 2000).

Vários estudos têm revelado o aumento do teor de azoto (N) disponível após a ocorrência dos incêndios florestais (e.g. GOTTFRIED e DEBANO, 1990). Estes eventos têm interferência na ciclagem de nutrientes, como é o caso do N, ao proporcionar-se a sua volatilização durante o incêndio, quando se atingem temperaturas entre 200º e os 400ºC (JOHNSON *et al.*, 1998; FERREIRA *et al.*, 2010b). Segundo os últimos autores citados, parte deste azoto perde-se para a

atmosfera sob a forma de N_2 , mas há uma parte que fica incorporada nas cinzas sob a forma de amoníaco (NH_4^+), acabando parte deste por se transformar em nitrato (NO_3^-) pela ação das bactérias nitrificantes, proporcionando-se, assim, condições favoráveis para a diminuição da acidez. Segundo FERNANDES (2009) a perda de nutrientes, incluindo o N, durante um fogo são mitigadas pela incorporação de matéria orgânica queimada, que contribui para a disponibilização de teores mais elevados destes nutrientes em formas minerais.

A água tem um papel relevante na ciclagem de nutrientes (VASCONCELOS E MALCATA, 2009), nomeadamente por favorecer a sua perda por lixiviação, processo com maior relevância em florestas húmidas (JOHNSON e LINDBERG, 1991). Destaca-se nesta abordagem o transporte de nitratos pela água após o incêndio, atribuindo-se desta forma, a responsabilidade a estes eventos pela alteração da qualidade da mesma (SMITH *et al.*, 2012). O azoto transformado em nitratos fica geralmente mais disponível para as plantas, mas parte deste perde-se por arrastamento ou através de partículas de solo arrastadas nos processos erosivos (FERREIRA *et al.*, 2010b). Segundo GOTTFRIED e DEBANO (1990) o aumento de azoto ocorre em duas fases: o primeiro ocorre imediatamente após a combustão, onde a elevada concentração de azoto sob a forma amoniacal (NH_4-N) se deve à combustão da matéria orgânica; numa segunda fase, com os elevados níveis de NH_4-N , aumenta a concentração de nitratos de azoto (NO_3-N) devido à nitrificação. Também é referido por LANDSBURG e TIEDEMANN (2000) que a concentração de nitratos na água geralmente aumenta após a ocorrência dos incêndios, mas em quantidades pouco significativas, o que não carece de grandes preocupações, exceto quando estes eventos ocorrem em áreas onde a concentração de azoto já é elevada. A disponibilidade de fósforo (P) também aumenta após os incêndios florestais (DEBANO e KLOPATEK (1988).

Os incêndios florestais são uma das fontes de contaminação da água, devido aos vários elementos resultantes da combustão do material florestal, como é o caso dos nutrientes que chegam até esta por diversos meios, admitindo os diferentes processos envolvidos (volatilização ou deposição e consecutiva perda por escorrência superficial e lixiviação), como se pode observar na Figura 1.12. Dependendo das concentrações destes elementos na água, podem desencadear-se determinados problemas de saúde no Homem, se esta for consumida sem tratamento prévio (NISBET e LAGOY, 1992; VASCONCELOS e MALCATA, 2009; SMITH *et al.*, 2011c). As consequências para o Homem podem ocorrer se houver inalação de compostos que se volatilizaram durante o incêndio, por ingestão de determinados alimentos (plantas) onde se depositaram cinzas, ou então, pela ingestão de água contaminada devido, também, a esta deposição de cinzas, com a agravante destas receberem nutrientes que se perderam por lixiviação nos solos. Quanto à deposição de nutrientes sobre o solo esta pode ser encarada como benéfica, sobretudo no desenvolvimento das plantas; já nas águas, estas deposições são indesejáveis por acarretarem consequências para o Homem se atingirem quantidades tóxicas (VASCONCELOS e MALCATA, 2009); porém estas podem ser controladas, o que não acontece com os compostos que volatilizaram (indesejáveis e de difícil controlo).

Nos incêndios florestais destaca-se, também, a elevada produção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) no processo de combustão natural da vegetação, sendo estes compostos

causadores de grandes preocupações ambientais, por serem mutagênicos, carcinogênicos e teratogênicos (MUMTAZ e GEORGE, 1995; OLIVELLA *et al.*, 2006; VILA-ESCALE *et al.*, 2007; IARC, 2010; LAUMANN *et al.*, 2011; VERGNOUX *et al.*, 2011). Segundo KIM *et al.* (2003) os HAP são produzidos pela combustão incompleta da matéria orgânica. Estes componentes químicos são emitidos pelos incêndios florestais, tanto na forma gasosa como particulada e variam com o tipo de incêndio e processo de combustão, admitindo-se a possível maximização da formação destes com temperaturas de combustão entre 500 e 800°C (PIO *et al.*, 2006).

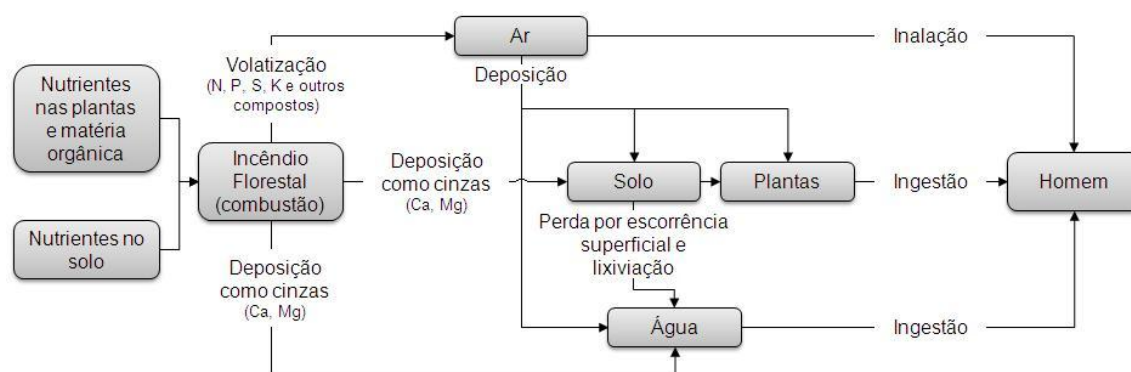


Figura 1.12. Possíveis caminhos dos nutrientes após a combustão nos incêndios florestais até serem inalados ou ingeridos pelo Homem.

Fonte: adaptado de LANDSBURG e TIEDEMANN (2000).

Além dos elementos anteriormente referidos, a produção de dioxinas pelos incêndios florestais, representa um sério problema ambiental (YOUNG *et al.*, 2004; ESSER *et al.*, 2005; KULKARNI *et al.*, 2008), por um lado, devido à permanência de uma parte destas no solo queimado (KIM *et al.*, 2003; PIO *et al.*, 2006) e por outro pela persistência nos tecidos, proporcionando-se desta forma a bioacumulação na cadeia alimentar, por se tratar de compostos químicos que dificilmente são excretáveis (BIRCH *et al.*, 2007).

1. 6. ÁGUA DA CHUVA

A água da chuva quando chega à superfície do solo não apresenta total pureza, porque a água no seu percurso natural entre as nuvens e a Terra e vice-versa (nos seus diferentes estados físicos), devido às suas características físicas e químicas, vai incorporando algumas substâncias presentes nestes meios, quer de origem natural (e.g. sais de origem marinha e gases que compõem a atmosfera), quer de origem antrópica (gases emitidos para a atmosfera resultantes da atividade do Homem), resultando na alteração da sua composição. Assim, a composição química da água da chuva é o resultado da combinação da composição química das gotículas que formam as nuvens e das substâncias que se incorporam às gotas de chuva durante a precipitação (SOUZA *et al.*, 2006).

Segundo LOPES (2001) é normal encontrar-se na água da chuva compostos de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , além de gases dissolvidos e produtos de reações que ocorrem na atmosfera, isto porque devido ao atrito do vento com a superfície do mar (água com grande quantidade de sais dissolvidos, como por exemplo NaCl , CaSO_4 , MgSO_4 , KCl , entre outros), formam-se “borrifos de água” que são lançados na atmosfera formando os designados aerossóis de origem marinha; entretanto, já na atmosfera essas pequenas gotículas perdem a sua água (total ou parcialmente) pela evaporação, restando apenas cristais de sais marinhos de reduzidas dimensões, formados principalmente de NaCl , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e MgSO_4 . Este autor refere também que estas partículas, bem como partículas de poeira (poluentes sólidos em suspensão na atmosfera), funcionam como um núcleo sobre os quais pequenas gotas de água condensam, favorecendo o aumento da velocidade de formação das nuvens.

Alguns autores têm vindo a estudar a composição da água da chuva, sobretudo na avaliação quantitativa e qualitativa das deposições atmosféricas e sua interferência nos ciclos biogeoquímicos, atividades antrópicas, entre outros (SOUZA *et al.*, 2006).

No caso português, apresentam-se alguns resultados obtidos na investigação elaborada por CORTEZ (1996), onde se avaliou o pH e concentrações de carbono e nutrientes nas águas da precipitação bruta (Quadro 1.4) em dois locais distintos, com diferentes tipos de ocupação (eucaliptal e pinhal). Neste trabalho verificou-se existir concentrações semelhantes de nutrientes nos dois locais, embora se refira que as variações pontuais e localizadas nas concentrações de elementos químicos das chuvadas seja comum, dependentemente da quantidade e qualidade de poeiras e aerossóis existentes na atmosfera no próprio momento ou nos períodos antecedentes das mesmas.

Quadro 1.4. Alguns parâmetros estatísticos apresentados por CORTEZ (1996) relativos aos valores de pH e às concentrações de carbono e de nutrientes na precipitação bruta, no eucaliptal e pinhal, obtidos entre Novembro de 1992 e Janeiro de 1995.

		pH	C org.	Ca^{2+}	Mg^{2+} mg l ⁻¹	K^+	Na^+
Eucaliptal	Média	5,35	11,28	0,91	0,25	0,29	1,84
	Mediana	5,25	7,17	0,43	0,21	0,14	1,54
	Desv. Pad.	0,71	17,73	1,54	0,21	0,59	1,53
	Min.	3,85	0,12	0,01	0,00	0,00	0,01
	Max.	7,10	111,15	8,48	1,05	4,05	7,30
Pinhal	Média	5,36	11,73	0,46	0,23	0,20	1,80
	Mediana	5,24	6,51	0,43	0,14	0,07	1,22
	Desv. Pad.	0,62	19,11	1,26	0,26	0,53	2,22
	Min.	4,16	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
	Max.	6,78	96,67	8,79	1,54	3,78	13,70

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

2. 1. SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Na definição da área para o desenvolvimento da investigação que se apresenta nesta dissertação, teve-se em consideração os seguintes critérios: selecionar apenas uma área florestal onde ocorreu um incêndio recentemente; selecionar áreas com declive e drenadas por cursos de água perenes ou temporários; a área de drenagem deve estar inserida numa bacia hidrográfica com albufeiras importantes de abastecimento público de água.

Para esta seleção, monitorizaram-se todos os incêndios florestais ocorridos diariamente em Portugal durante o verão de 2012, através do *website* da Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC). Neste *website* foi disponibilizada toda a informação relativa à localização e duração dos vários incêndios florestais e, também, os meios utilizados no seu combate.

De todas as ocorrências registadas pela ANPC durante o verão de 2012, optou-se pelo incêndio ocorrido a 19 de Julho de 2012 na área florestal do Planalto de Cezaredas (Concelho da Lourinhã). A área ardida resultante deste incêndio intersesta um curso de água importante, mais concretamente a Ribeira de São Domingos, que vai desaguar no Rio de São Domingos, compreendendo este uma albufeira estratégica para o abastecimento público de água potável no Concelho de Peniche - Barragem de São Domingos. Este fator atribui determinada importância a esta ribeira, não só pela quantidade de água drenada para este rio, mas também pela qualidade da mesma.

Em função da área ardida selecionada, definiu-se, *a posteriori*, o local para a realização dos ensaios de campo, i.e., os pontos de colheita de amostras de água nos cursos superficiais adjacentes às vertentes ardidas. Estas amostras de água serviram para avaliar possíveis alterações da qualidade da água destes cursos após o incêndio, depois de ocorrer precipitação capaz de gerar escorrência superficial e exportar elementos químicos da área onde ocorreu o incêndio.

Para a compreensão de alguns processos que ocorrem na área de estudo (e.g. drenagem), fez-se a caracterização física do território abrangido por esta (tipo de solo, uso e ocupação do solo, clima, entre outros) e, também, da sua envolvente.

2. 1. 1. ÁREA DE ESTUDO

2. 1. 1. 1. *Enquadramento geográfico*

A área queimada resultante do incêndio que ocorreu no Planalto de Cezaredas, localiza-se no norte da área administrativa do Concelho da Lourinhã. Este concelho compreende uma vasta área da bacia

hidrográfica do Rio de São Domingos (setor montante), onde se localiza a sub-bacia da Ribeira de São Domingos; enquanto o Concelho de Peniche (a noroeste do concelho da Lourinhã), compreende a restante área da bacia deste rio, onde se localiza também a Barragem de São Domingos (Figura 2.1). Esta sub-bacia compreende a totalidade da área queimada do incêndio anteriormente referido, constituindo assim a área de estudo (AE). Para se integrar a Barragem de São Domingos neste estudo, prolongou-se a AE ao longo do Rio de São Domingos até à albufeira desta barragem.

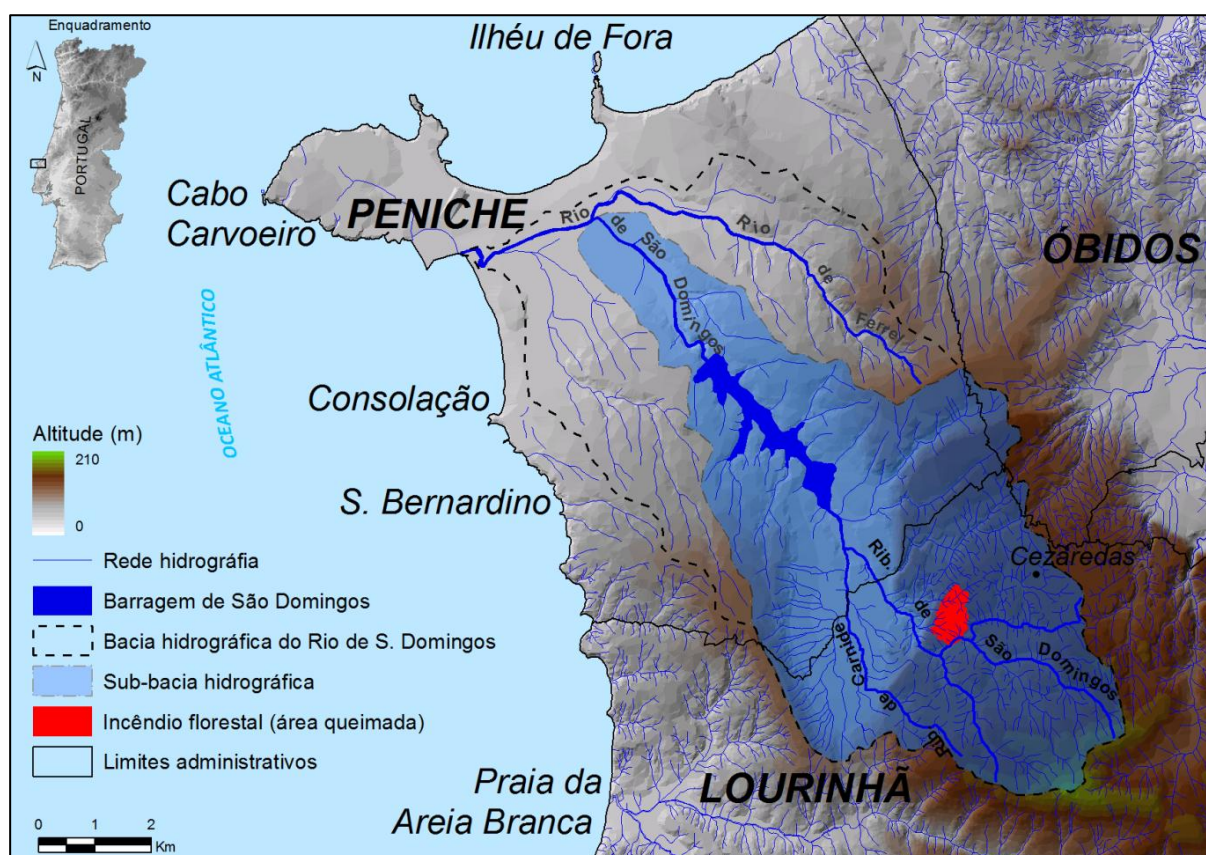


Figura 2.1. Localização geográfica da área onde ocorreu o incêndio florestal do Planalto de Cezaredas.

2. 1. 1. 2. *Bacia hidrográfica do Rio de São Domingos e algumas caraterísticas dos cursos de drenagem principais*

A bacia hidrográfica do Rio de São Domingos (onde se insere a área queimada do incêndio anteriormente referido) apresenta um perímetro de 39,7 km e a área é de 68,3 km², do qual resulta o índice de Gravelius⁴ ou Coeficiente de Compacidade (Kc) de 1,34, caracterizando-se assim por uma

⁴ Este índice quantifica a forma das bacias hidrográficas e obtém-se a partir da equação $Kc = 0,28 P / \sqrt{A}$, em que P corresponde ao perímetro da bacia em km e A à área da bacia em Km² (RAMOS, 2005).

bacia compacta ($K_c < 1,6$). Este valor de K_c muito próximo da unidade indica a tendência para a ocorrência de cheias (RAMOS, 2005).

Os afluentes desta bacia vão confluindo até ao Rio de São Domingos, formando uma rede de organização complexa. Este rio resulta da confluência de duas ribeiras (São Domingos e Carnide) e do Rio de Ferrel. Dada a extensão da área desta bacia, optou-se por se delimitar a área drenada pelo Rio de São Domingos até à foz do Rio de Ferrel (Figura 2.1), visto esta investigação se desenvolver apenas neste território, compreendendo assim apenas as sub-bacias das ribeiras de São Domingos e Carnide. A área de drenagem delimitada, ora em diante designada por sub-bacia do Rio de São Domingos, tem um perímetro de 35,9 km e compreende a área de 44,59 km², apresentando o índice KC de 1,5.

Para se perceber como a bacia hidrográfica do Rio de São Domingos é drenada, extraiu-se a rede hidrográfica a partir da topografia (Modelo Numérico de Elevação - MNE), com recurso às ferramentas disponíveis no ILWIS 3.7 (DEM Hydro-processing). Os resultados obtidos foram validados através da comparação visual com as folhas 337, 338, 349 e 350 da Carta Militar de Portugal (1:25.000), procedimento que permitiu corrigir algumas imperfeições geradas na extração automática dos cursos de água. Analisando a rede hidrográfica obtida, verificou-se a diferenciação entre o setor montante e jusante, sendo muito densa no primeiro com um padrão de drenagem dendrítico (BLOOM, 1999), e menos densa no segundo.

Considerando o comprimento total dos cursos de água da sub-bacia do Rio de São Domingos (213,226km) e a sua área, obteve-se a densidade de drenagem de 4,78 km/km².

A Ribeira de São Domingos é um curso de água perene, de 2ª ordem na hierarquização da rede de drenagem proposta por STRAHLER (1952; 1957). Esta vai desaguar no Rio de São Domingos, muito próximo da albufeira da Barragem de São Domingos (Figura 2.2). Entre a nascente desta ribeira e a albufeira desta barragem, os cursos de água principais têm uma extensão aproximada de 7,85 km. Esta ribeira nasce junto à localidade de Reguengo Pequeno, onde se regista a altitude máxima de 180 m, atravessa alguns lugares, de entre eles as povoações de Moledo, Pena Seca, Riba Fria e Bolhos.

2. 1. 1. 3. Litologia, tipo, uso e ocupação do solo

Na litologia da sub-bacia do Rio de São Domingos, predominam os conglomerados, arenitos, calcários (dolomíticos e margosos) e as margas (mapa da esquerda na Figura 2.3). Com menor expressão, destaca-se o setor intermédio desta sub-bacia com areias, calhaus rolados, arenitos pouco consolidados e argilas. Já a jusante da Barragem de São Domingos, destacam-se duas manchas: uma de aluviões e outra de dunas e areias eólicas (CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL, 1992).

Traçado em planta

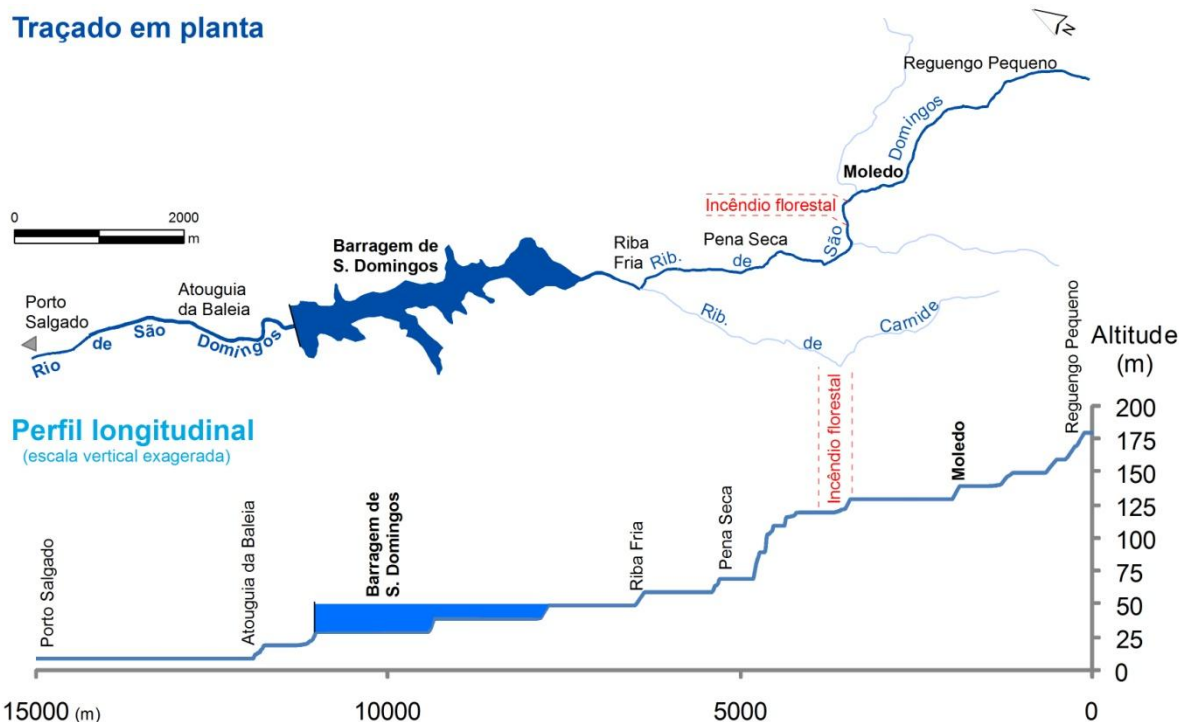


Figura 2.2. Traçado em planta e perfil longitudinal da Ribeira e do Rio de São Domingos.

Quanto aos solos (mapa ao centro na Figura 2.3), predominam os solos argiluvitados pouco insaturados ao longo de toda a área da sub-bacia, com destaque, no setor montante para os solos litólicos (não húmicos e pouco insaturados), onde se localiza a área ardida resultante do incêndio florestal. No setor intermédio destacam-se os solos calcários e solos incipientes (Aluviossolos) (Atlas do Ambiente da APA).

Na ocupação do solo, destaca-se a área florestal ao longo do planalto de Cezaredas, com evidência para as grandes manchas de carrasco (*Quercus coccifera*) e eucaliptos (*Eucalyptus globulus*). Nesta área, embora com menor expressão, encontram-se alguns pinheiros mansos e bravos (*Pinus pinea* e *Pinus pinaster*), carvalhos (*Quercus rotundifolia*), sobreiros (*Quercus suber*) e medronheiros (*Arbutus unedo* L.) e algumas áreas ocupadas por vegetação arbustiva, nomeadamente: giestas, tojo, silvas, entre outros. Na área onde ocorreu o incêndio predominavam essencialmente pinheiros bravos, eucaliptos e carrasco. Quanto ao uso do solo da restante área da sub-bacia do Rio de São Domingos, este é maioritariamente agrícola, subdividido em “sistemas culturais e parcelares complexos; agricultura com espaços naturais e seminaturais e culturas temporárias de regadio”, de acordo com a nomenclatura da Corine Land Cover (CLC'06) disponibilizada pela atual Direção Geral do Território.

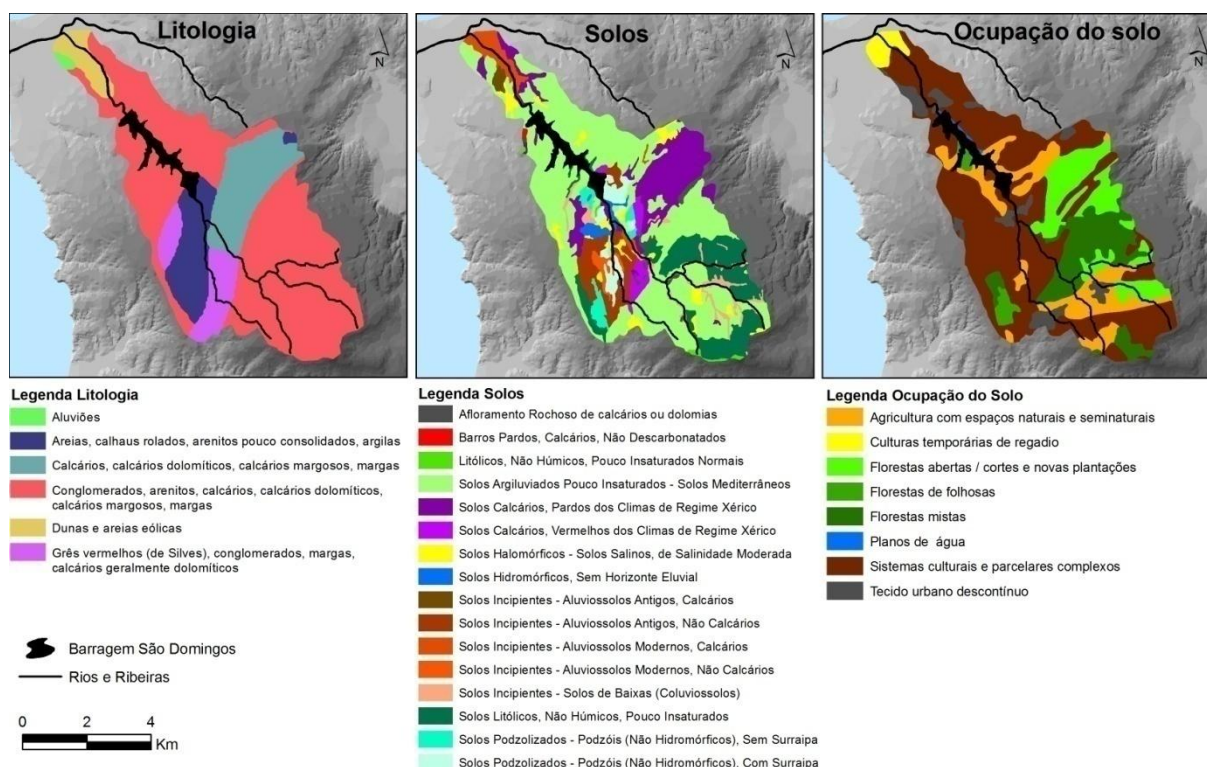


Figura 2.3. Litologia, Solos e Ocupação do Solo da sub-bacia hidrográfica do Rio de São Domingos.

Os dois primeiros mapas resultam da adaptação das Cartas de Litologia e dos Solos (1:1 000 000) disponibilizadas pela APA; enquanto o mapa da ocupação do solo, foi adaptado de CORINE Land Cover'06 (1:100 000).

De destacar ainda a existência de uma pedreira em plena atividade de exploração de rochas ornamentais nos afloramentos rochosos (calcários) do Planalto de Cezaredas, por interferir na drenagem da Ribeira de São Domingos (Figura 2.4). Os elementos resultantes do corte destas rochas (essencialmente pó de pedra) no momento da sua extração, ficam depositados à superfície, estando disponíveis para posterior transporte até à ribeira, através da água drenada pelos canais antrópicos feitos propositadamente para escoar a água acumulada nas depressões resultantes da extração das rochas. Por outro lado, a circulação de maquinaria (e.g. camiões, retroescavadoras, entre outros) sobre a ribeira (ver Figura 2.4) também pode constituir um *input* de resíduos na mesma. Há ainda a possibilidade de ocorrer a deposição de poeiras nesta ribeira, geradas durante os processos de extração das rochas e pela circulação de veículos na área compreendida pela pedreira.

Todos os fatores anteriormente referidos relativos à pedreira podem refletir-se a jusante da área em exploração, neste caso, na água armazenada na albufeira da Barragem de São Domingos, onde há decantação dos materiais transportados pelo caudal da Ribeira de São Domingos podendo, desta forma, proporcionar-se alterações químicas na composição da água aqui armazenada.

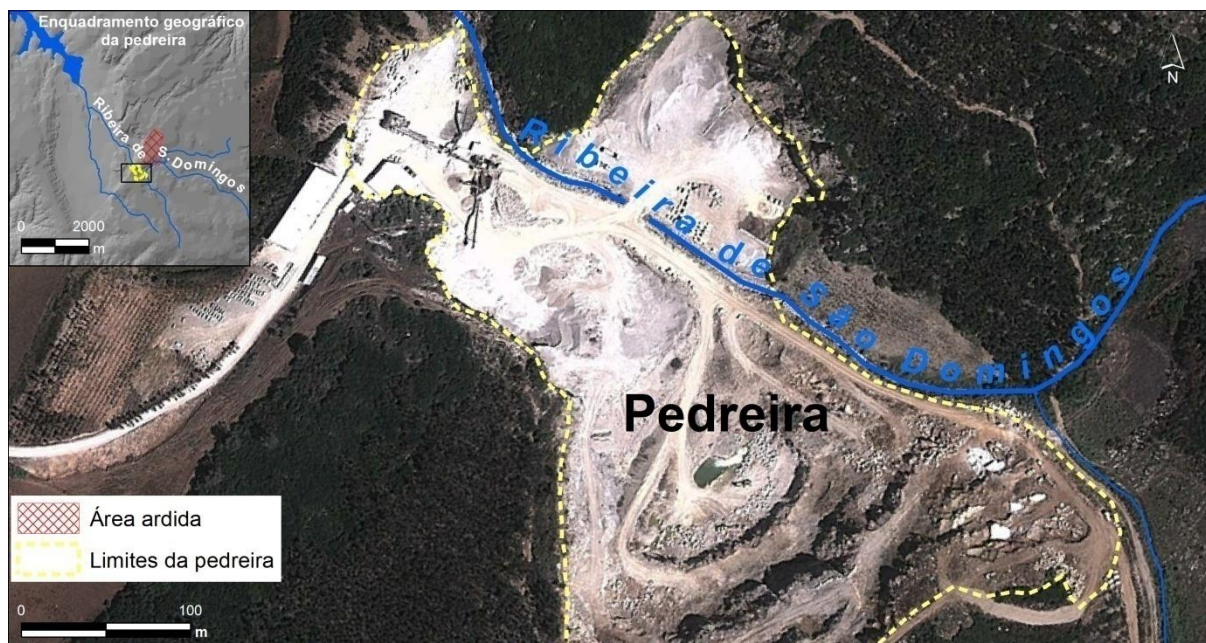


Figura 2.4. Localização da pedreira no Planalto de Cezaredas e respetiva interseção com a Ribeira de São Domingos.

2. 1. 1. 4. O clima

Para a avaliação do clima da área onde ocorreu o incêndio da AE, são necessários dados de precipitação e temperatura no mínimo de 30 anos, conforme as orientações apresentadas na resolução do Primeiro Congresso Internacional de Meteorologia. Não sendo possível obter os dados destes dois parâmetros para a área em questão, com este intervalo temporal, recorreu-se a trabalhos já publicados para a caracterização climática da área de estudo.

Segundo os resultados apresentados em IM e AEMET (2011), quase todo o litoral oeste de Portugal Continental (onde se insere a AE) apresenta um clima temperado, com um período marcadamente seco no Verão e temperatura média do mês mais quente menor ou igual a 22°C e com quatro meses ou mais com temperatura média superior a 10°C. Com estas características, está-se perante um clima temperado com Verão seco e temperado (Csb) na classificação de Köppen-Geiger.

Analisando os mapas climáticos elaborados por DAVEAU e COLABORADORES (1985), onde se apresenta um esboço das regiões climáticas de Portugal, verifica-se que a área de estudo se encontra na transição da região de clima marítimo litoral oeste (amplitude térmica muito atenuada, com frequência de nevoeiros de advecção durante as manhãs de verão) para a região de clima marítimo de fachada atlântica (verão moderado com o máximo médio do mês mais quente entre 23° a 29°C e inverno moderado com o mínimo médio do mês mais frio entre 4° a 6°C). A transição climática nesta área acompanha a modificação do relevo entre o litoral e o interior, neste caso mais visível quando há variação da altitude entre a faixa costeira com o Planalto de Cezaredas (cerca de 200m de

variação), constituindo este último, uma barreira que dificulta a circulação das massas de ar marítimas.

2. 1. 1. 5. A precipitação

A ocorrência de precipitação é fundamental neste tipo de investigação, pois esta água quando em circulação nas vertentes ardidas, constitui o principal agente responsável pelo transporte de nutrientes e sedimentos para os cursos de água (através da escorrência superficial), proporcionando desta forma a potencial poluição dos mesmos. Neste sentido, importa avaliar o regime pluviométrico da área em estudo.

Na envolvente da área de estudo existem algumas estações meteorológicas, mas encontram-se atualmente desativadas, com exceção de Cela, Rego da Murta e Arranhó, a funcionar por telemetria (Figura 2.5) estando os seus dados disponibilizados no *website* do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

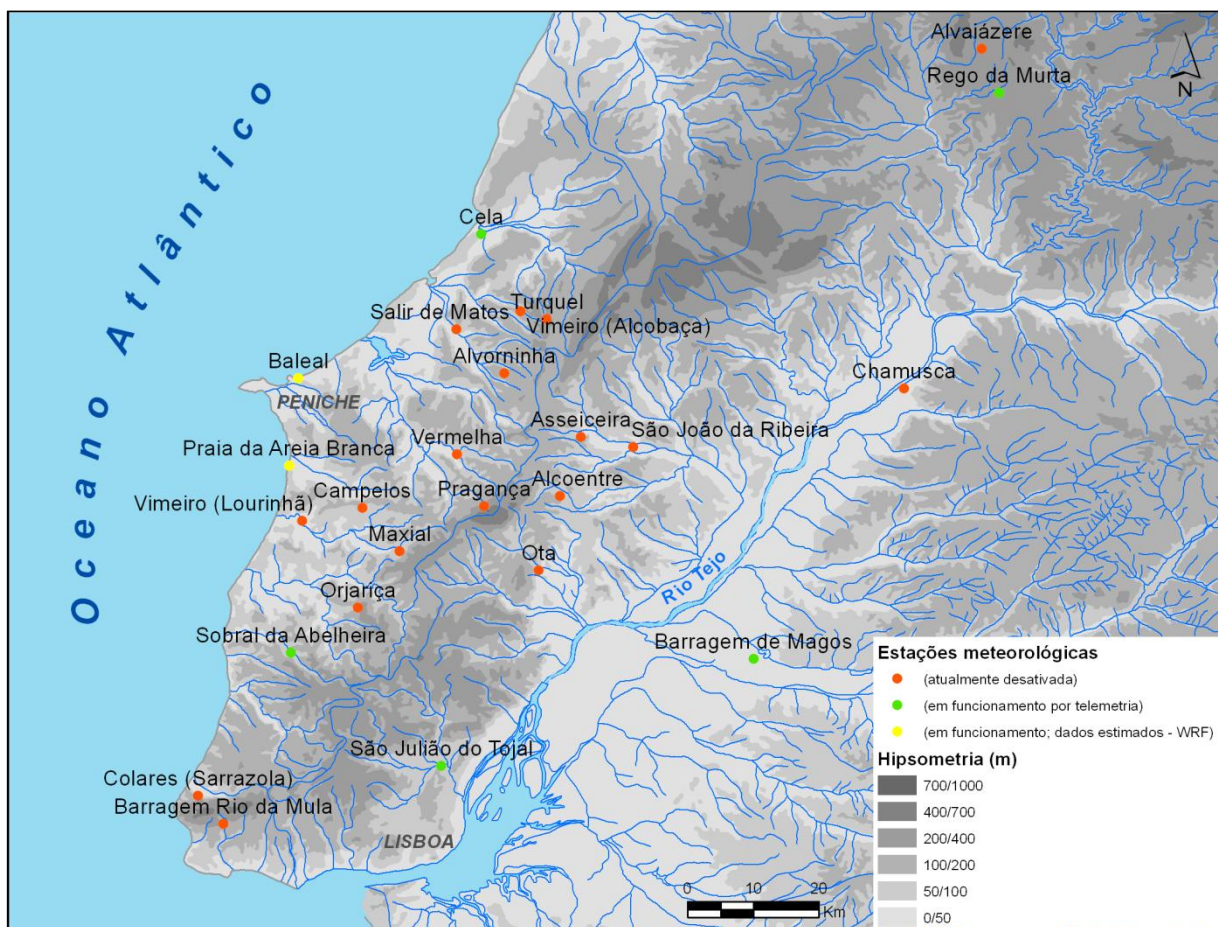


Figura 2.5. Localização das estações meteorológicas utilizadas na modelação numérica da precipitação média anual.

Algumas das estações meteorológicas apresentadas na Figura 2.5 não têm séries contínuas de registos e para colmatar esta falha foi necessário calcular os valores em falta através da determinação da correlação entre os dados da estação em causa, com os dados da estação mais próxima (quadro apresentado no anexo 4). Com os dados da precipitação destas estações uniformizados procedeu-se à sua análise, considerando-se também as suas localizações e a altitude a que se encontram (Quadro 2.1). De todas as estações consideradas, Alvaiázere destaca-se com o registo mais elevado de precipitação média anual (1026 mm) no período em análise (anos hidrológicos entre 1980 a 2010), sendo esta também a estação que se encontra a maior altitude, de todas as estações consideradas. Já os valores de menor precipitação registam-se nas estações que se encontram nas altitudes mais reduzidas (e.g. São Julião do Tojal, com 679 mm).

Quadro 2.1. Precipitação média anual registada nas estações meteorológicas mais próximas da área de estudo entre 1980 e 2010.

Estação Meteorológica	Altitude da estação (m)	Localização da estação	Precipitação média anual (mm)	Fonte
Alcoentre	69	-8,960W 39,213N	804	SNIRH
Alvaiázere	335	-8,381W 39,827N	1026	SNIRH
Alvorninha	117	-9,036W 39,382N	802	SNIRH
Asseiceira	82	-8,931W 39,294N	768	SNIRH
Baleal*	2	-9,319W 39,375N	--	Windguru
Barragem Rio da Mula	155	-9,422W 38,763N	856	SNIRH
Campelos	106	-9,231W 39,197N	759	SNIRH
Cela	2	-9,068W 39,573N	778	SNIRH
Chamusca	18	-8,487W 39,361N	688	SNIRH
Colares (Sarrazola)	56	-9,457W 38,802N	710	SNIRH
Maxial	71	-9,180W 39,137N	703	SNIRH
Orjariça	150	-9,237W 39,060N	784	SNIRH
Ota	39	-8,989W 39,111N	700	SNIRH
Pragança	183	-9,064W 39,199N	828	SNIRH
Praia da Areia Branca*	4	-9,331W 39,255N	--	Windguru
Rego da Murta	241	-8,357W 39,767N	919	SNIRH
Salir de Matos	91	-9,102W 39,442N	806	SNIRH
São João da Ribeira	24	-8,859W 39,280N	696	SNIRH
São Julião do Tojal	6	-9,123W 38,843N	679	SNIRH
Sobral da Abelheira	120	-9,329W 38,998N	829	SNIRH
Turquel	213	-8,978W 39,456N	940	SNIRH
Vermelha	50	-9,101W 39,270N	721	SNIRH
Vimeiro (Alcobaça)	90	-9,014W 39,467N	848	SNIRH
Vimeiro (Lourinhã)	25	-9,314W 39,179N	702	SNIRH

* Sem dados de precipitação no período analisado. Estas estações dispõem de dados com intervalos de 3 horas para um máximo de um ano, sendo estes determinados pelo modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF), i.e., um sistema de previsão numérica de mesoescala.

A partir desta observação, obteve-se a relação entre a precipitação média anual e a altitude a que se encontram as estações meteorológicas, verificando-se que esta é elevada, conforme se pode observar pelo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8277$) apresentado no gráfico da Figura 2.6. Este resultado indica que quanto maior é a altitude, maior é o valor de precipitação registado na estação meteorológica, evidenciando a influência do relevo na distribuição da precipitação, facto já referido por outros autores (e.g. DAVEAU e COLABORADORES, 1985). Neste sentido utilizou-se a equação

da reta deste gráfico ($y = 0,9866x + 687,91$) para a elaboração de um Modelo Numérico de Precipitação (MNP), de forma a permitir avaliar a distribuição da precipitação no território em análise.

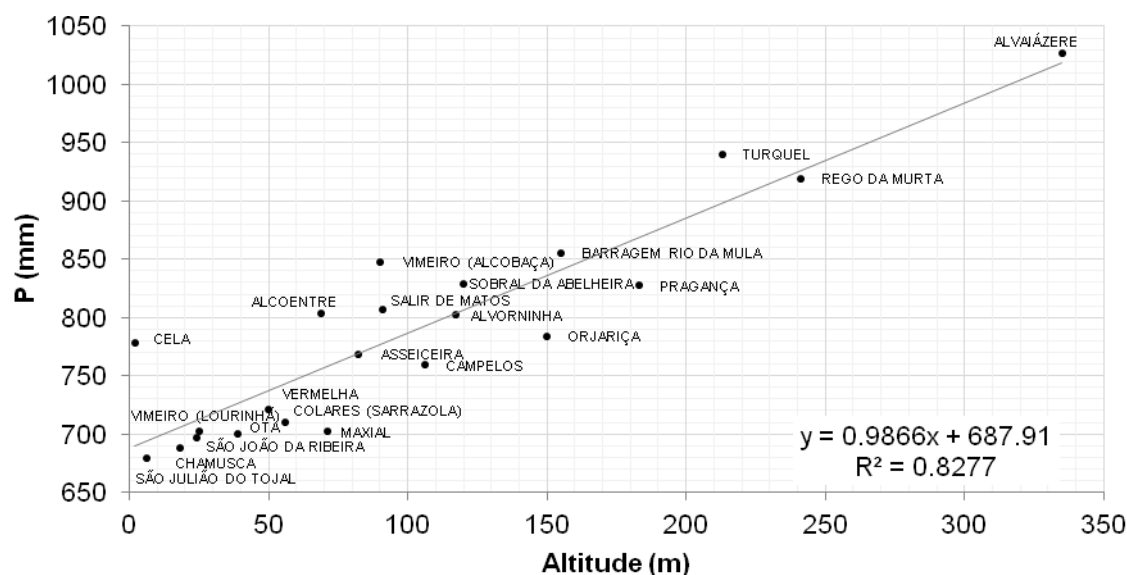


Figura 2.6. Relação entre a precipitação média anual (1980 a 2010) e a altitude das estações meteorológicas.

Para esta avaliação recorreu-se aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Através do *software* ILWIS 3.7, começou por se elaborar um MNE da AE, utilizando-se as curvas de nível vetorizadas a partir das folhas 337, 338, 349 e 350 da Carta Militar de Portugal (1:25.000). Este modelo foi sujeito à correção de imperfeições geradas na sua conceção (através da ferramenta Fill Sinks), do qual resultou o MNE utilizado na elaboração do MNP.

Para o cálculo do MNP, recorreu-se à equação da reta resultante da relação da precipitação média anual com a altitude das estações meteorológicas (ver Figura 2.6), do qual resultou a seguinte equação:

$$\text{MNP} = 0,9866(\text{MNE}) + 687,91 \quad [2.1]$$

No mapa da Figura 2.7 apresentam-se os resultados obtidos na elaboração do MNP, onde se pode observar a variação espacial da precipitação. Através deste mapa, verifica-se que o setor montante da bacia hidrográfica é onde ocorre mais precipitação, com o valor máximo de 993 mm de precipitação média anual. Já o setor intermédio da bacia apresenta valores mais reduzidos de precipitação (facto explicado pelo relevo aplanado, numa altitude compreendida entre os 60 e 70 m), verificando-se os valores mínimos no setor jusante (aproximadamente 700 mm).

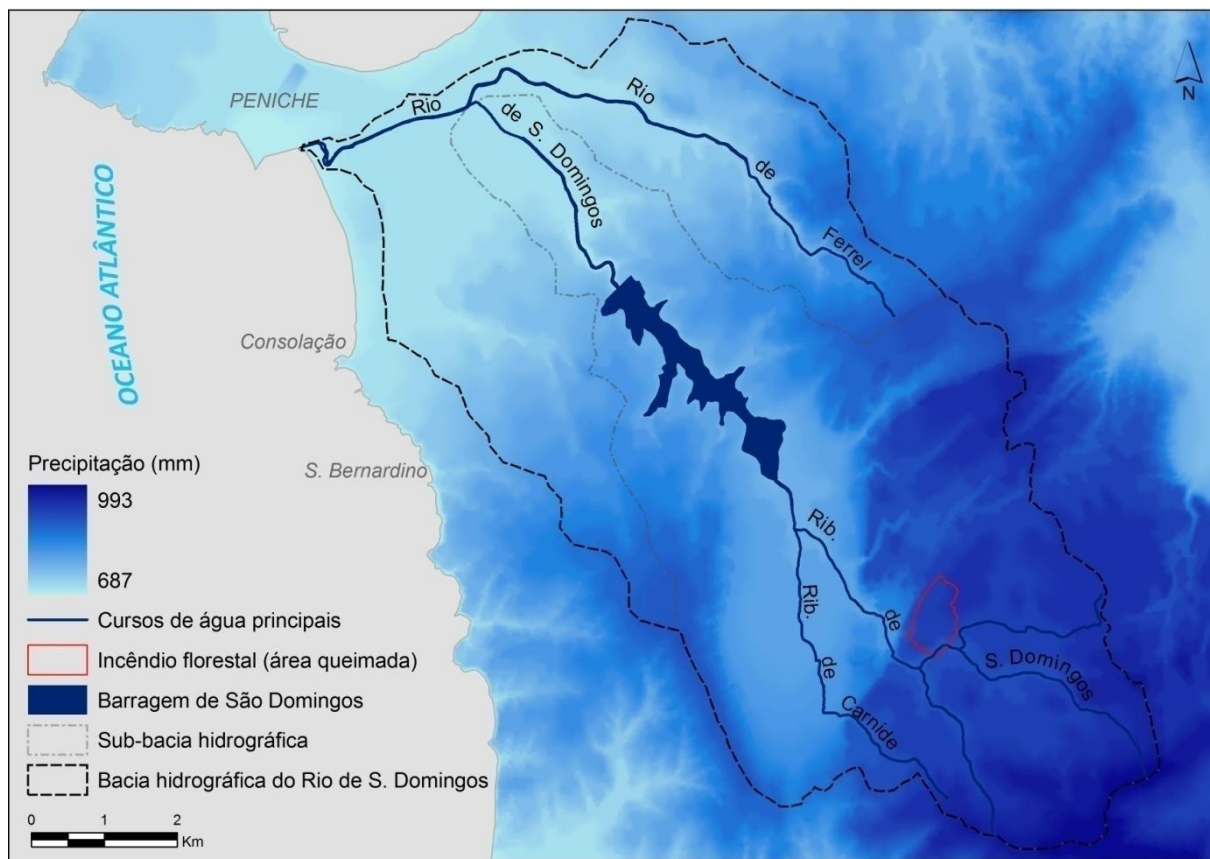


Figura 2.7. Modelo numérico de precipitação.

Considerando a precipitação média mensal das séries hidrológicas das cinco estações mais próximas à área de estudo (Campelos, Maxial, Pragança, Vermelha e Vimieiro-Lourinhã), observa-se que os registos mais elevados estão compreendidos entre Outubro e Janeiro, com um valor máximo secundário em Abril (Figura 2.8). Nas cinco estações, o mês mais chuvoso regista sempre mais de 100 mm de precipitação (média mensal); já os meses de verão destacam-se pela reduzida precipitação, evidenciando-se o mês de Julho com precipitação média mensal inferior a 8 mm em todas as estações.

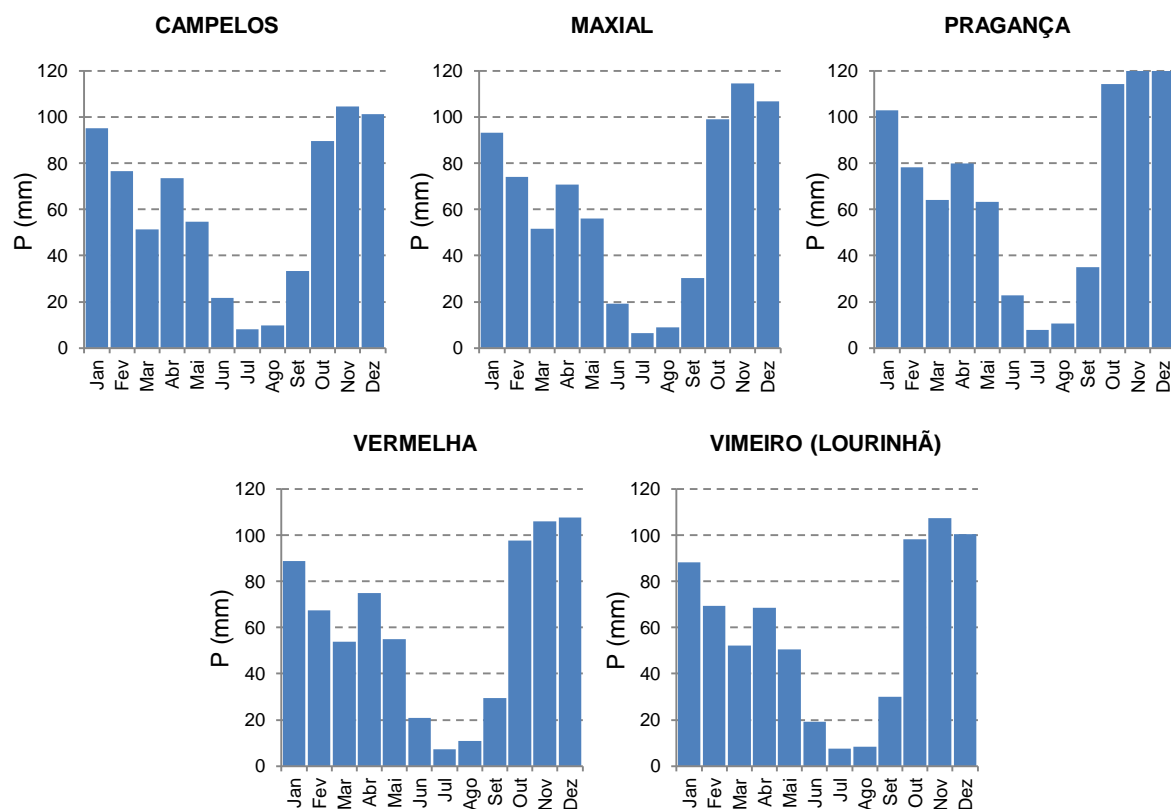


Figura 2.8. Precipitação média mensal (mm) registada nos anos hidrológicos compreendidos entre 1979 e 2010 nas 5 estações meteorológicas mais próximas à localidade de Cezaredas.

2. 2. O INCÊNDIO FLORESTAL DO PLANALTO DE CEZAREDDAS - DEFINIÇÃO DOS LOCAIS PARA A COLHEITA DE AMOSTRAS DE ÁGUA

Este incêndio deflagrou por volta das 14:07 do dia 19 de Julho de 2012, e foi dado como dominado às 21:33 do mesmo dia (informação disponibilizada no *website* da ANPC). A área queimada neste incêndio estimou-se a partir de levantamento pontual por GPS dos limites da área afetada, do qual se obteve 48,16 ha. Esta está localizada essencialmente entre o Porto da Ribeira e o lugar de Martinquel (Figura 2.9).

A recolha de amostras de água realizou-se em locais definidos estrategicamente ao longo da Ribeira de São Domingos, em função da localização da área ardida (Quadro 2.2). O local de colheita A, representado no mapa da Figura 2.9, foi selecionado por estar a montante da área ardida e por nesta secção da ribeira não haver escorrência superficial da área ardida, constituindo a água das amostras aqui recolhidas a referência utilizada para comparação com os parâmetros químicos da água das restantes amostras colhidas a jusante da área afetada pelo incêndio. O ponto B situa-se na secção da ribeira imediatamente após a área ardida, onde se pressupõe haver maior contaminação da água pela escorrência superficial proveniente das vertentes ardidas. O ponto C situa-se já na Barragem de São Domingos, junto ao setor onde o Rio de São Domingos desagua, local onde a água já se

encontra estagnada, o que pressupõe a existência de decantação de partículas transportadas pela água deste rio (neste ponto o rio já recebeu a montante água da Ribeira de São Domingos).

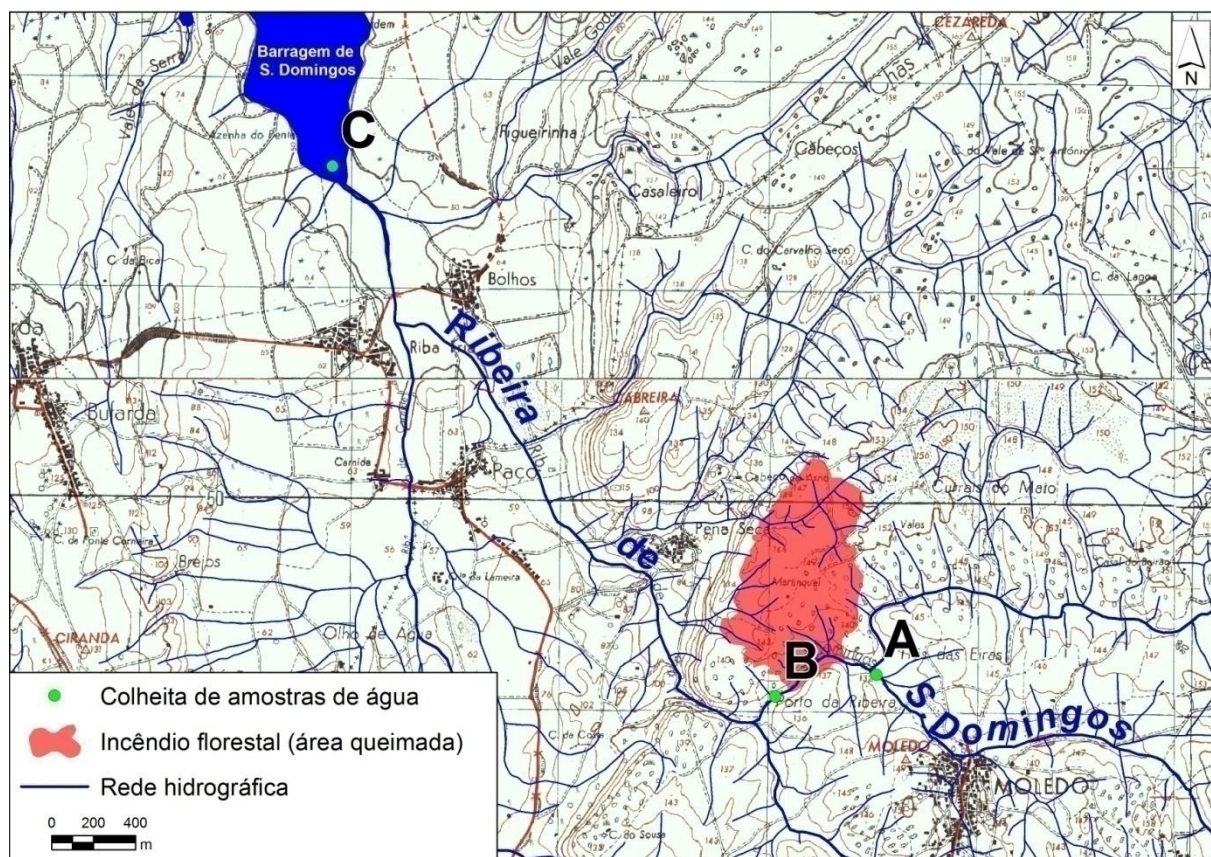


Figura 2.9. Área afetada pelo incêndio florestal do Planalto de Cezaredas representada sob extrato da Folha 349 da Carta Militar de Portugal (1:25.000), com a localização dos pontos de colheita de amostras de água ao longo da Ribeira de São Domingos e na Barragem de São Domingos.

Entre o ponto A e o início da área queimada, a Ribeira de São Domingos tem cerca de 117 m de comprimento; já entre este ponto e o ponto B, a ribeira tem cerca de 582 m, encontrando-se este último ponto a cerca de 63 m do final da área queimada; entre o ponto C (o mais distante da área queimada) e o ponto A, a ribeira tem cerca de 4347 m, apresentando uma extensão de cerca de 3765 m até à área queimada. A área queimada (entre o pontos A e B) compreende cerca de 392 m desta ribeira.

Quadro 2.2. Designação das amostras de água e referência geográfica do local de colheita.

Código da Amostra	Localização	Caraterísticas
A	-9,260725W 39,288578N	Montante da área queimada
B	-9,268353W 39,288469N	Jusante da área queimada
C	-9,298553W 39,320014N	Barragem de S. Domingos

2. 2. 1. CARATERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DA ÁREA ARDIDA

A área ardida situa-se predominantemente no Planalto de Cezaredas, como já foi referido. Esta intersesta várias linhas de água temporárias (sazonais) e, também, a Ribeira de São Domingos (Figura 2.10). Devido ao relevo deste planalto, uma parte da área ardida (28,87 ha) é drenada para oeste através de linhas de água temporárias que desaguam na Ribeira de São Domingos, muito próximo da localidade de Pena Seca. A restante área queimada (19,29 ha) é drenada diretamente para a Ribeira, sendo as vertentes afetadas (a norte da Ribeira), caracterizadas pelo fraco declive nas áreas de maior altitude e declives mais acentuados para jusante, com alguns “socalcos” no setor intermédio (Perfil 1 na Figura 2.10). De destacar ainda a presença de pequenos terraços fluviais no fundo de vale.

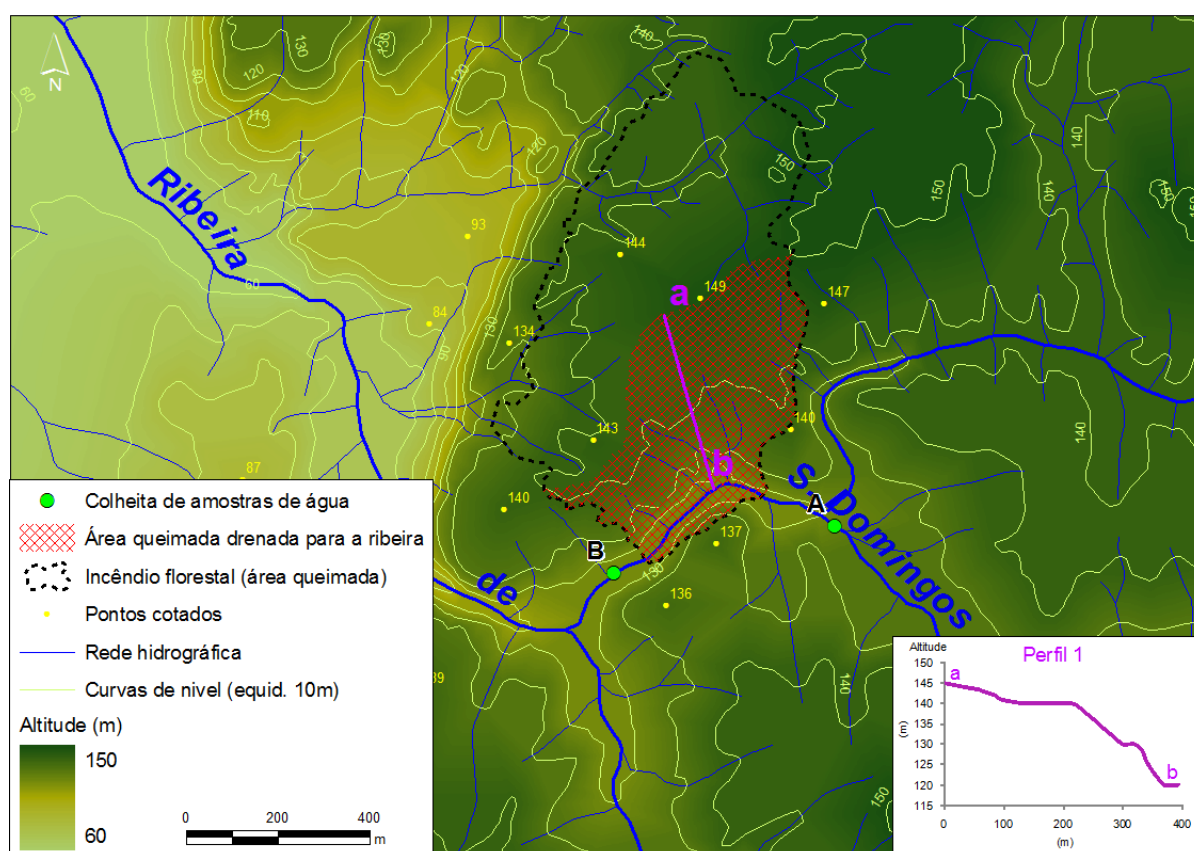


Figura 2.10. Área queimada drenada diretamente para a Ribeira de São Domingos entre os pontos de colheita de amostras de água A e B, com representação do perfil topográfico das vertentes que compreendem esta área.

2. 3. COLHEITA DE AMOSTRAS DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

As colheitas de amostras de água realizaram-se *a posteriori* da ocorrência do incêndio na área de estudo, após a ocorrência de eventos de maior precipitação. Para este efeito, monitorizou-se entre

19/07/2012 e 17/01/2013 a precipitação diária registada nas estações meteorológicas da rede SNIRH em funcionamento mais próximas ao Planalto de Cezaredas. De todas as estações ativas, selecionaram-se a Barragem de Magos, Rego da Murta, Sobral da Abelheira e São Julião do Tojal. Estas já se encontram afastadas da área afetada pelo incêndio, no entanto, os dados aqui registados são os únicos conseguidos (Anexo 5) para a perceção da ocorrência e distribuição da precipitação neste território, de forma a compreender-se os resultados obtidos nas análises das amostras de água recolhidas na Ribeira e Barragem de São Domingos. De referir que as estações Rego da Murta e Sobral da Abelheira foram desativadas no início do corrente ano e houve a necessidade de se estimar os dados em falta para as mesmas, a partir dos dados das restantes estações em análise. Face a esta carência de registos, também se consultou a base de dados do *Website* do Windguru, onde se obteve dados complementares de precipitação diária (dados estimados através do modelo *Weather Research and Forecasting*) para as estações meteorológicas localizadas nas praias da Areia Branca (Lourinhã) e Baleal (Peniche).

No período monitorizado distinguem-se alguns episódios pluviosos, conforme se pode observar no gráfico da Figura 2.11. A primeira precipitação sobre a área queimada ocorreu a partir de 15 de Agosto, mas foi muito reduzida, não se proporcionando a formação da escorrência superficial.

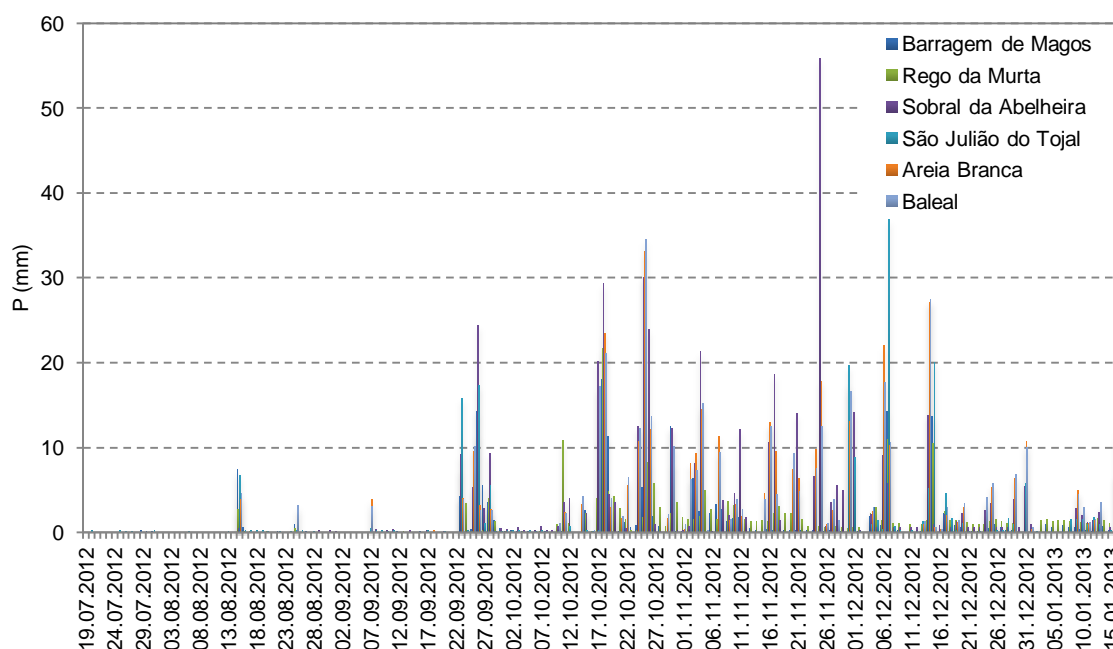


Figura 2.11. Precipitação diária registada nas seis estações meteorológicas mais próximas ao Planalto de Cezaredas, após a ocorrência do incêndio florestal nesta área.

O primeiro episódio com ocorrência de elevada precipitação registou-se entre 23 e 28 de Setembro, destacando-se o dia 26 com o valor máximo de precipitação em todas as estações; já o segundo episódio destaca-se entre 17 e 19 de Outubro e a partir deste observa-se a ocorrência sucessiva de outros episódios relevantes até 15 de Dezembro; por último distingue-se o dia 16 de Janeiro.

Em função destes episódios de maior precipitação definiu-se os dias para a colheita de amostras de água na ribeira e na barragem, conforme se pode observar no gráfico da Figura 2.12. A primeira colheita realizou-se a 27 de Setembro, a segunda a 19 de Outubro, a terceira a 1 de Dezembro e a última a 16 de Janeiro de 2013.

Considerando cada acontecimento pluvioso, i.e., desde que começou a chover até ao dia de colheita das amostras de água (Quadro 2.3), verifica-se para a primeira colheita, a precipitação média diária total de 26,27 mm (resultado obtido a partir dos valores registados nas seis estações mais próximas à área ardida, designadamente, Areia Branca, Baleal, Barragem de Magos, Rego da Murta, Sobral da Abelheira e São Julião do Tojal), destacando-se neste período pluvioso o dia 26 de Setembro com o valor médio mais elevado (12,23 mm) e um total de 13,85 mm nas 48h horas antecedentes a esta colheita; já para o período antecedente à segunda colheita obteve-se 35,8 mm de precipitação média total, com o dia 18 de Outubro a registar o valor mais elevado (18,93 mm) e um total de 23,53 mm nas 48h antes desta colheita; para o período antecedente à terceira colheita obteve-se 19,99 mm de precipitação média total, destacando-se o dia 30 de Novembro com 11,25 mm e um total de 15,20 mm nas 48h anteriores à colheita; para a última colheita, obteve-se 11,34 mm de precipitação média acumulada, sobressaindo o dia 16 de Janeiro com a precipitação média mais elevada no período (6,41 mm) e um total de 6,79 mm nas 48h antecedentes a esta colheita.

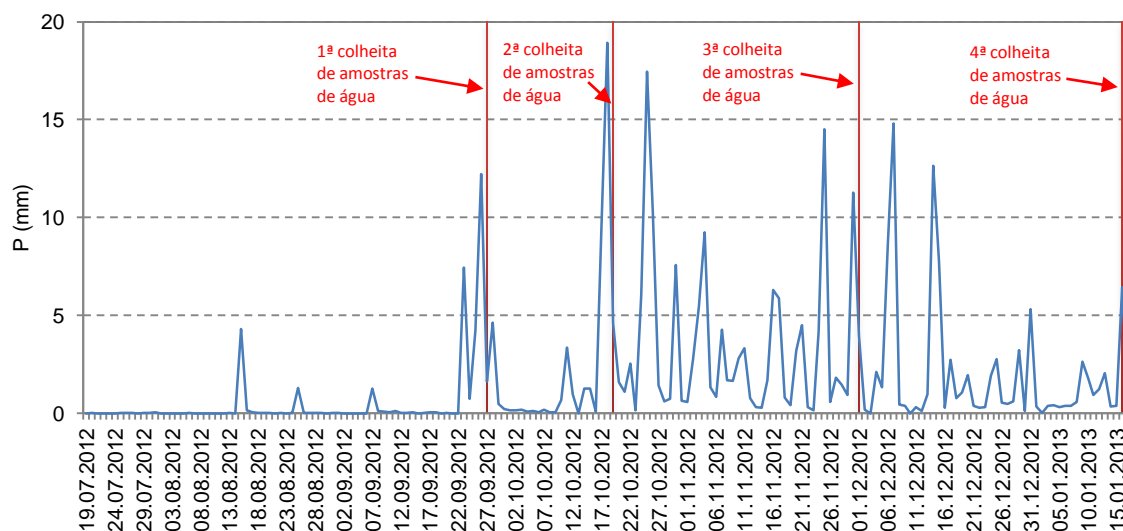


Figura 2.12. Variação da precipitação média diária registada entre 19/07/2012 e 17/01/2013 nas estações meteorológicas em funcionamento mais próximas ao Planalto de Cezaredas (Areia Branca, Baleal, Barragem de Magos, Rego da Murta, Sobral da Abelheira e São Julião do Tojal), com representação dos dias seleccionados para a colheita de amostras de água.

Quadro 2.3. Precipitação média das estações meteorológicas da Areia Branca, Baleal, Barragem de Magos, Rego da Murta, Sobral da Abelheira e São Julião do Tojal e respetivos períodos de monitorização em função da colheita das amostras de água.

Colheita de amostras de água	Σ da P média de cada episódio pluvioso (mm)	Σ da P média nas 48h antecedentes (mm)	P Máx. diária (mm)	Total de dias de P	Dias P > 10 mm
1ª Colheita	26,27	13,85	12,23	5	1
2ª Colheita	35,80	23,53	18,93	7	1
3ª Colheita	19,99	15,20	11,25	6	1
4ª Colheita	11,34	6,79	6,41	6	0

A partir da precipitação média nos quatro períodos pluviosos antecedentes a cada colheita, registada nas seis estações meteorológicas em funcionamento mais próximas à área de estudo anteriormente referidas, fez-se interpolação do qual resultou o mapa da Figura 2.13. A partir deste mapa verificou-se que a precipitação a montante da bacia é inferior ao setor jusante (cerca de 3,75 e 4,6 mm, respetivamente). Neste sentido optou-se pela divisão da área de estudo em setores (b_A , b_B e b_C) em função da área de drenagem, para posterior análise em conjunto com as concentrações dos vários elementos químicos determinados nos três pontos de amostragem.

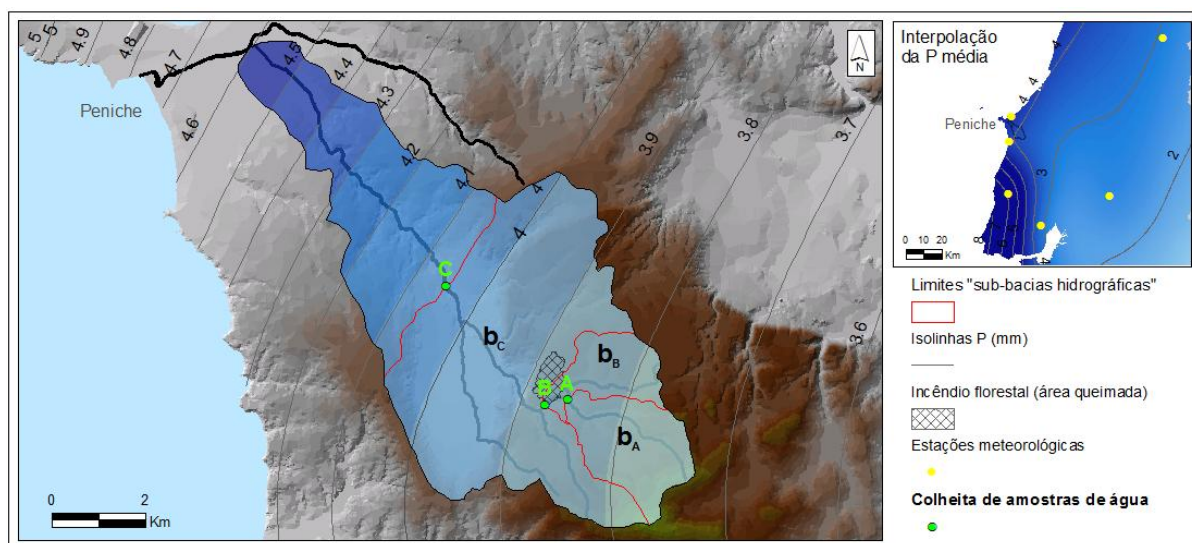


Figura 2.13. Interpolação da precipitação média dos quatro períodos pluviosos antecedentes a cada colheita de amostras de água, nas seis estações meteorológicas (em funcionamento) mais próximas à área de estudo.

Destes setores evidencia-se o b_C com a maior extensão de área e com maior área drenada (soma da área total a montante do ponto C), distinguindo-se este também pelas vertentes com maior declive na área de estudo (Quadro 2.4). O setor b_B é o que apresenta menor área dos três, mas compreende a área ardida que escoia diretamente para a Ribeira de São Domingos (entre o ponto A e B), i.e., onde há *input* direto (através da água de escorrência superficial) de elementos químicos resultantes do incêndio florestal nas águas da ribeira.

Quadro 2.4. Características dos setores da bacia hidrográfica do Rio de São Domingos.

Setor da Bacia Hidrográfica	Área (m ²)	Área total drenada* (m ²)	Área queimada (m ²)	Área queimada na área total do setor (%)	Declive das vertentes (Graus)			
					Min.	Max.	Med.	D.P.
b _A	4565250	4565250	0	0	0	43,08	2,9	6,13
b _B	2795500	7360750	148698	2,02	0	46,69	1,55	4,71
b _C	22853000	30213750	332866	1,10	0	72,22	3,78	8,8

* Considerando a área dos setores a montante.

2. 4. TRATAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

As amostras de água colhidas na Ribeira e Barragem de São Domingos foram analisadas em laboratório, onde se determinou os seguintes parâmetros: condutividade elétrica, pH, teores de N, P, K, Na, Ca e Mg.

Todas as amostras foram congeladas, colheita após colheita, de forma a minimizar alterações químicas da água, durante o período de monitorização (período de ocorrência de precipitação diária referido anteriormente). Após a finalização de todos os trabalhos realizados em campo, descongelaram-se todas as amostras e realizaram-se as várias análises em laboratório.

2. 4. 1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Depois de descongeladas as amostra de água (cerca de 0,5L por cada amostra), procedeu-se à sua filtragem, utilizando-se neste processo um filtro de membrana com a malha 0,45 µm. Cada amostra de água já filtrada foi dividida em três partes: uma parte serviu para a determinação do pH e da condutividade elétrica; a outra serviu para a determinação da concentração de nutrientes na água; e a restante, congelou-se novamente para o caso de ser necessário efetuar mais análises. Cada amostra de água anteriormente referida foi codificada com uma letra, correspondendo esta ao local de colheita da água (A, B e C) e um número (1, 2, 3 e 4), correspondendo este à primeira, segunda, terceira e quarta colheita de amostras no campo (Quadro 2.5).

2. 4. 2. METODOLOGIA ANALÍTICA

Foram vários os métodos utilizados na determinação dos diversos parâmetros químicos da água, sendo alguns adaptados das orientações metodológicas de análise de solos apresentadas em PÓVOAS e BARRAL (1992). De referir que nesta investigação considerou-se apenas alguns parâmetros que refletem a degradação da qualidade da água, mas há outros que podem ser

considerados neste tipo de avaliações, como por exemplo a turbidez, temperatura, total de oxigênio dissolvido, entre outros (ver anexos 2 e 3).

Nas secções que se seguem apresenta-se algumas considerações gerais sobre cada parâmetro e o modo operativo utilizado na sua determinação.

Quadro 2.5. Referência atribuída a cada amostra de água colhida e analisada em laboratório.

Cód. Amostra	Colheita	Data	Localização	Coordenadas
A1	1ª Colheita	27/09/2012	Montante da área ardida	-9,260725W 39,288578N
B1	1ª Colheita	27/09/2012	Jusante da área ardida	-9,268353W 39,288469N
C1	1ª Colheita	27/09/2012	Barragem de S. Domingos	-9,298553W 39,320014N
A2	2ª Colheita	19/10/2012	Montante da área ardida	-9,260725W 39,288578N
B2	2ª Colheita	19/10/2012	Jusante da área ardida	-9,268353W 39,288469N
C2	2ª Colheita	19/10/2012	Barragem de S. Domingos	-9,298553W 39,320014N
A3	3ª Colheita	01/12/2012	Montante da área ardida	-9,260725W 39,288578N
B3	3ª Colheita	01/12/2012	Jusante da área ardida	-9,268353W 39,288469N
C3	3ª Colheita	01/12/2012	Barragem de S. Domingos	-9,298553W 39,320014N
A4	4ª Colheita	16/01/2013	Montante da área ardida	-9,260725W 39,288578N
B4	4ª Colheita	16/01/2013	Jusante da área ardida	-9,268353W 39,288469N
C4	4ª Colheita	16/01/2013	Barragem de S. Domingos	-9,298553W 39,320014N

2. 4. 2. 1. pH

A determinação do pH na água, ou medida da atividade dos iões H^+ , fez-se com recurso ao potenciómetro com eléctrodo de vidro combinado. Este foi calibrado com as soluções pH 4 e pH 7 (PÓVOAS e BARRAL, 1992), estando estas à mesma temperatura da água em análise. No desenvolvimento operacional, emergiu-se o eléctrodo na amostra de água previamente agitada e passados 60 segundos ou quando o valor estabilizou, fez-se a leitura do pH.

2. 4. 2. 2. Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica é o parâmetro mais utilizado para expressar a concentração de sais solúveis na água, correspondendo à medida da capacidade de um material em conduzir eletricidade (parâmetro oposto da resistividade eléctrica), aumentando proporcionalmente à medida que a concentração de sais também aumenta (HOLANDA *et al.*, 2010). Segundo PÓVOAS e BARRAL (1992), a condutividade é a condução da eletricidade por um processo de transferência de massa das soluções de eletrólitos.

Na aplicação prática, esta medida indica o grau de mineralização da água e permite obter rapidamente as variações nas concentrações de minerais dissolvidos (PARRON *et al.*, 2011; KONDO, 2012). Assim, a água pura tem uma condutividade eléctrica muito baixa (na ordem de

0,05 dS m⁻¹), podendo esta aumentar, devido ao conteúdo de impurezas ou substâncias dissolvidas, tornando-se desta forma um bom condutor elétrico (HOLANDA *et al.*, 2010).

No laboratório, utilizou-se a mesma água das amostras usada na determinação do pH para a avaliação da condutividade elétrica, recorrendo-se neste caso ao condutivímetro com compensação automática de temperatura para a estimativa de sais solúveis nas águas. Os dados obtidos no condutivímetro encontravam-se em microsiemens por centímetro (μS cm⁻¹), convertidos, *a posteriori*, para decisiemens por centímetro (dS cm⁻¹) para representação gráfica e respetiva análise.

2. 4. 2. 3. Azoto

A concentração de N nas águas das diversas amostras colhidas determinou-se pelo método de KJELDAHL (BREMNER e MULVANEY, 1982), recorrendo-se a um sistema de destilação Kjeltac Auto 1030 Analyser.

2. 4. 2. 4. Fósforo

Na determinação ou doseamento do fósforo “assimilável” para as várias amostras de água, recorreu-se ao método de EGNER-RIEHM (PÓVOAS e BARRAL, 1992).

O doseamento do fósforo fez-se colorimetricamente pelo método de MURPHY e RILEY (1962), utilizando-se um único reagente constituído por ácido sulfúrico, molibdato de amónio, ácido ascórbico e tartarato de potássio e antimónio, numa única solução, conforme referido por PÓVOAS e BARRAL (1992). Também é referido por estes últimos autores que, este método baseia-se na redução do complexo molibdofosfato de amónio pelo ácido ascórbico, na presença do antimónio, do qual resulta uma cor azul (azul molibdénio), estável por 10 minutos e durante pelo menos 24 horas.

Para a quantificação do fósforo, recorreu-se o espectrofotómetro UV/Visível da marca *Pye Unicam*, modelo SP8-400 UV/VIS.

2. 4. 2. 5. Bases de troca

Esta determinação das bases de troca (Ca, Mg, K e Na) fez-se nas várias amostras de água e nos ensaios em branco, sendo a primeira diluída, até se obter a sua leitura no espectrofotómetro UV/visível dentro dos limites indicados para cada elemento.

Nesta quantificação das bases de troca por espectrofotometria de absorção atómica (LUCAS e SEQUEIRA, 1976), utilizou-se um espectrofotómetro da marca *Perkin-Elmer*, modelo 2380.

2. 5. TRATAMENTO DOS DADOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA

A partir dos resultados obtidos em laboratório realizou-se a análise estatística descritiva, nomeadamente a determinação da média (\bar{x}), mediana (X_{me}) desvio padrão (σ), mínimo (min) e máximo (max) das diversas séries de dados de cada elemento químico em avaliação.

Para a avaliação da relação existente entre o teor dos vários elementos químicos das águas analisadas (correlações) e, também, da relação entre estes e a precipitação ocorrida antes dos vários momentos de colheita de amostras de água, recorreu-se ao *software* Statistica-7. Estando-se perante dados de diferentes elementos químicos e com diferentes unidades, todos os valores inseridos neste *software* foram previamente padronizados, utilizando a seguinte equação:

$$E_p = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} \quad [2.2]$$

correspondendo E_p ao valor padronizado; X ao teor do elemento químico presente na água; \bar{x} à média da cada série dos teores dos elementos químicos obtidos nas diversas águas analisadas e σ ao desvio padrão destas respetivas séries.

Com os resultados já padronizados, calculou-se a correlação entre os mesmos e realizou-se, também, uma análise fatorial na tentativa de detetar e identificar grupos de variáveis interdependentes.

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3. 1. PARÂMETROS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA ANALISADOS EM LABORATÓRIO

3. 1. 1. VARIAÇÃO DO pH

O pH da água de todas as amostras colhidas varia entre pouco alcalino a alcalino, com o valor mínimo de 8,04 a montante da área ardida na água da primeira colheita e o valor máximo de 9,13 na água colhida na Barragem de São Domingos no dia 1 de Dezembro (Figura 3.1), encontrando-se este último valor já fora dos limites legais estabelecidos para águas destinadas ao consumo humano (valor máximo ≤ 9). Embora com pequenas flutuações, é visível através do gráfico da Figura 3.1 a variação do pH na água colhida nos diversos pontos e, também, entre os diversos momentos.

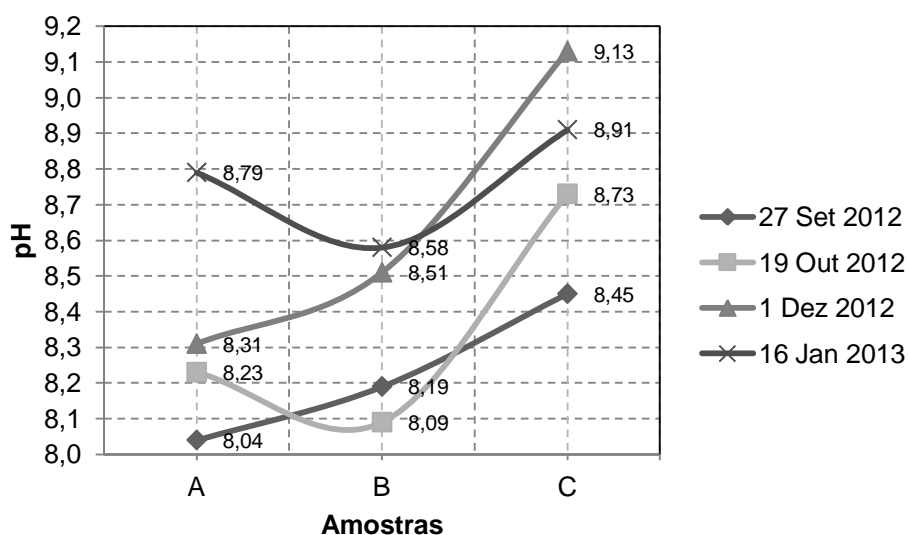


Figura 3.1. Variação do pH da água colhida entre montante da área ardida (A), jusante da área ardida (B) e Barragem de São Domingos (C).

No ponto de colheita A (a montante da área ardida) verificou-se sempre um aumento do pH na água entre a primeira e a última colheita, com destaque para o pH da água da última colheita por aumentar cerca de 0,5, face ao pH da penúltima colheita. Já no ponto de colheita B (jusante da área ardida) há aumento do pH nas águas do primeiro e terceiro momentos de colheita de água, em relação aos valores verificados no ponto A; no entanto, o pH das águas colhidas no segundo e quarto momentos diminuiu face aos valores obtidos no ponto A no mesmo momento de colheita. Na Barragem de São Domingos (ponto C) foi onde se observaram os valores de pH mais elevados, aumentando entre a primeira e terceira colheita (8,45, 8,73 e 9,13, respetivamente) e com uma pequena redução na água da última colheita (8,91).

A partir do gráfico da Figura 3.2 podem observar-se as flutuações do pH ao longo de todo o período de monitorização, por cada ponto de colheita de amostras de água. Neste gráfico é visível o aumento do pH ao longo do tempo, com exceção de pequenas reduções de pH, como é o caso do ponto B (19 de Outubro) e C (16 de Janeiro). Neste também se pode observar a diferença mais acentuada entre o pH das águas dos pontos A e B, com o pH das águas do ponto C (valores mais elevados em todos os momentos). Este último ponto de colheita localiza-se já na albufeira onde as águas se encontram estagnadas, fator que pode explicar os resultados de pH mais elevados aqui observados, face ao pH das águas em constante movimento na Ribeira de Cezaredas, onde se localizam os dois primeiros pontos de colheita i.e., ao longo desta ribeira pode haver a variação da temperatura da água e trocas gasosas com a atmosfera provocando alterações do pH.

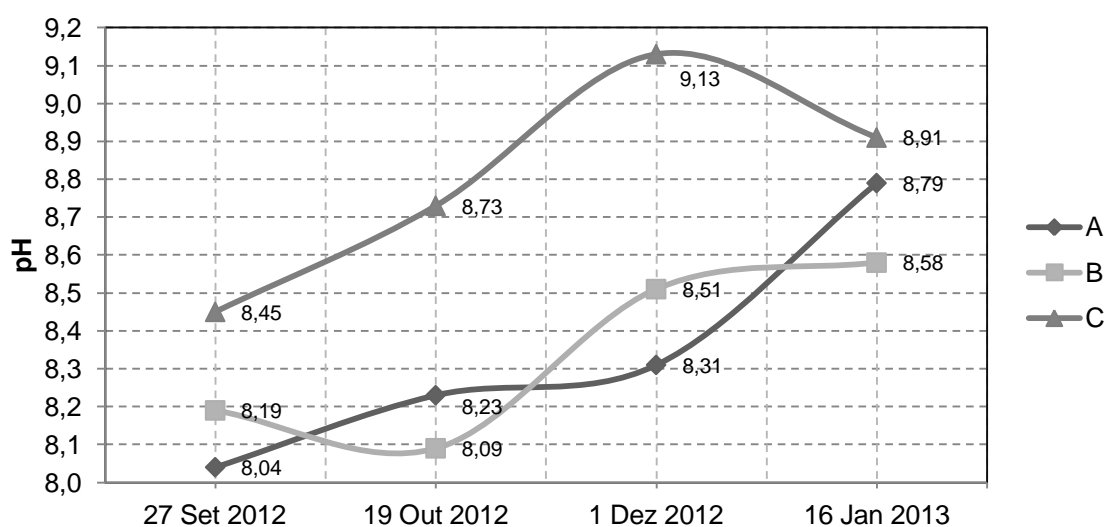


Figura 3.2. Variação do pH nas amostras de água no período monitorizado.

Considerando os valores médios do pH das águas nos três locais de amostragem, observou-se que os pontos A e B apresentam o mesmo valor médio, enquanto no ponto C verificou-se o pH mais elevado (Figura 3.3). Estes resultados de pH iguais em A e B revelam as reduzidas variações que ocorreram entre estes dois pontos de amostragem, porém, estes refletem o aumento que ocorreu na primeira e terceira colheita no ponto B e da redução na segunda e quarta colheita neste mesmo ponto, facto referido anteriormente. Nesta análise refere-se que há elevada heterogeneidade entre os valores de pH observados nas várias águas, o que deve ser tido em conta quando se faz esta descrição de valores médios, ou seja, devido ao conjunto de valores em análise estes resultados não são estatisticamente muito significativos.

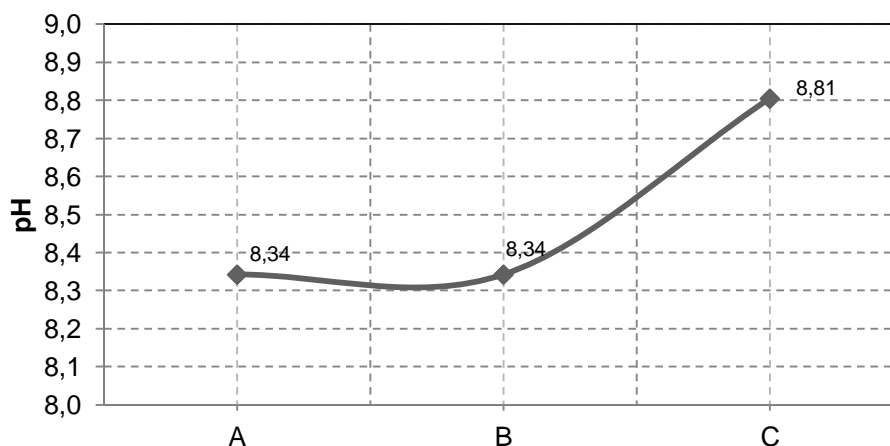


Figura 3.3. Média do pH das águas nos três locais de amostragem (A, B e C) para os quatro momentos de amostragem.

3. 1. 2. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Nos quatro momentos de colheita de água, verifica-se que a condutividade elétrica nas águas dos pontos A, B e C, distribuídos ao longo da Ribeira e Rio de São Domingos, é variável de ponto para ponto, diferenciando-se cada momento de colheita, pela redução gradual ao longo de todo o período monitorizado (Figura 3.4), i.e., os valores mais elevados destacam-se na primeira colheita (27 de Setembro), observando-se nos momentos seguintes a redução da condutividade elétrica, o que evidencia a redução de sais solúveis na água. O ponto B (imediatamente a jusante da área ardida) destaca-se com os valores de condutividade elétrica mais elevados na água para os quatro momentos de colheita, sobressaindo o primeiro com o valor mais elevado do conjunto das amostras de água analisadas ($0,0110 \text{ dS cm}^{-1}$).

Estes resultados revelam a presença de maior concentração de sais na água colhida no ponto B, face à água colhida a montante da área ardida, demonstrando-se desta forma a influência da água de escorrência superficial, proveniente da área ardida, no transporte de sais e consecutiva alteração da composição química da água da ribeira que ali circula.

Na Barragem de São Domingos foi onde se observou menor condutividade elétrica na água para os quatro momentos, podendo explicar-se estes resultados pela quantidade (volume) de água existente nesta albufeira, o que traduz a menor concentração de sais, face à concentração observada na água da ribeira que contribui para o seu abastecimento.

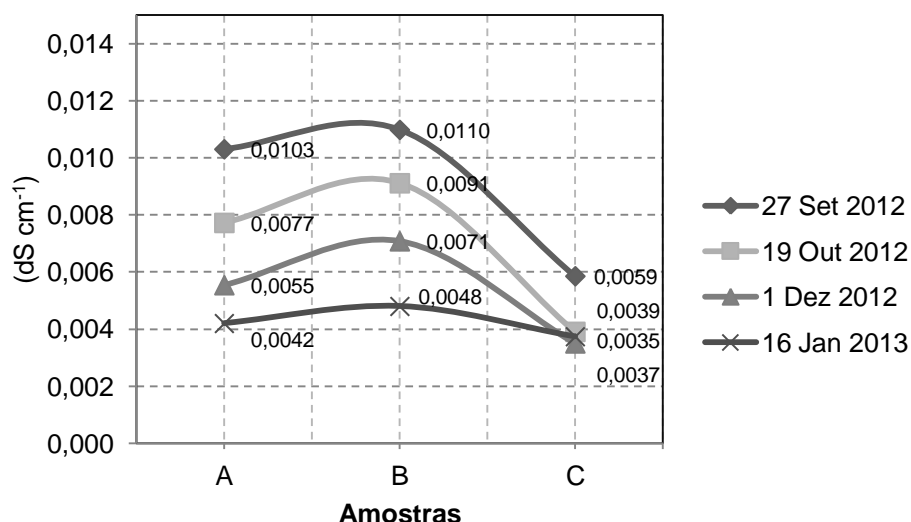


Figura 3.4. Variação da condutividade elétrica na água colhida entre montante da área ardida (A), jusante da área ardida (B) e Barragem de São Domingos (C).

A variação da condutividade elétrica é maior entre as amostras de água colhidas a 27 de Setembro (A1, B1 e C1), obtendo-se para esta série o desvio padrão de $0,0028 \text{ dS cm}^{-1}$. Nas amostras A2, B2 e C2 a dispersão é menor, face aos resultados anteriormente referidos, obtendo-se nesta série o desvio padrão de $0,0027 \text{ dS cm}^{-1}$. Para as amostras A3, B3 e C3 obteve-se o desvio padrão de $0,0018 \text{ dS cm}^{-1}$ e para as amostras A4, B4 e C4 obteve-se o desvio padrão de $0,0005 \text{ dS cm}^{-1}$. Estes resultados indicam a redução consecutiva de sais transportados até à ribeira (no troço analisado) durante o período de monitorização, explicando-se estes pela menor disponibilidade dos mesmos, sobretudo na área queimada, entre os vários momentos após a primeira colheita de água, devido à precipitação que entretanto ocorreu.

Considerando a variação da condutividade existente entre as águas do ponto inicial (A) e do ponto final (C), foi nas primeiras águas colhidas nestes pontos que se observou maior diferenciação ($0,0044 \text{ dS cm}^{-1}$), sendo a discrepância gradualmente menor entre as águas das amostras A2/C2, A3/C3 e A4/C4 ($0,0038$, $0,0020$ e $0,0005 \text{ dS cm}^{-1}$, respetivamente), bem como entre a água das amostras B1/C1, B2/C2, B3/C3 e B4/C4 ($0,0051$, $0,0052$, $0,0036$ e $0,0005 \text{ dS cm}^{-1}$, respetivamente), ou seja, o impacte dos sais transportados pela água da escorrência superficial para os canais de drenagem é cada vez menor com o passar do tempo, como se pode observar pontualmente no período monitorizado (Figura 3.5). Na Barragem de São Domingos, a variação entre os resultados das últimas colheitas é pouco significativa, evidenciando-se apenas um ligeiro aumento da concentração de sais na amostra de água da última colheita.

Contudo, os valores da condutividade elétrica de todas as águas analisadas são muito baixos, havendo entre as mesmas variações muito reduzidas, logo estes resultados têm um significado muito fraco ou reduzido.

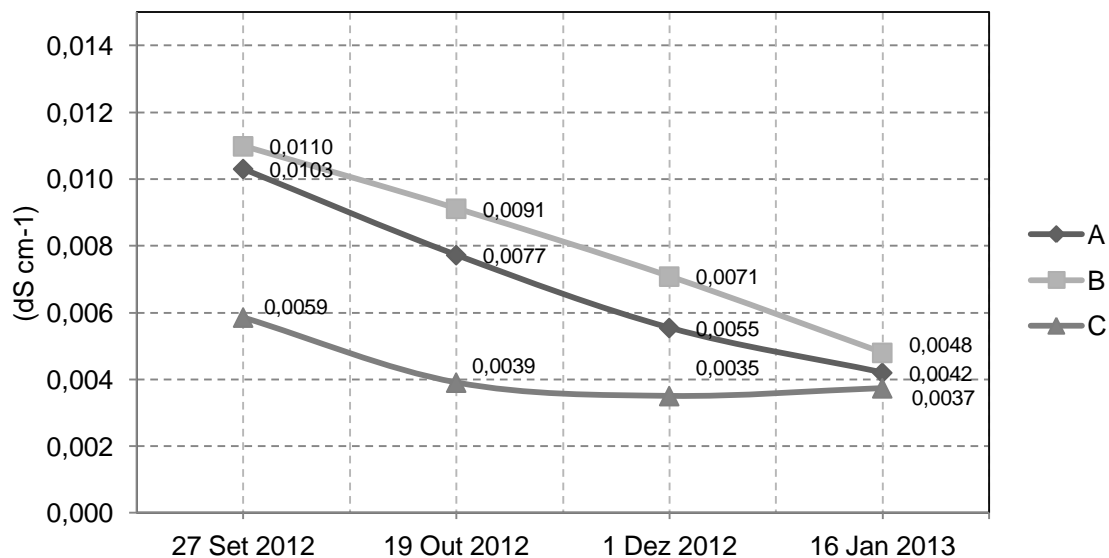


Figura 3.5. Variação da condutividade elétrica na água das várias amostras ao longo do período de monitorização.

3. 1. 3. VARIAÇÃO DO TEOR DE AZOTO TOTAL

Na avaliação do teor de N das águas das diversas amostras colhidas (Quadro 3.1), verificou-se que este é reduzido na totalidade ou conjunto das amostras dos diversos pontos. Deste conjunto, evidencia-se a água da primeira colheita no primeiro ponto (A1) pela concentração de N mais elevada ($1,12 \text{ mg l}^{-1}$); já as amostras B4, C1 e C2 sobressaem com a ausência de N.

A variação do teor de N nas amostras de água é bastante irregular nos quatro momentos de colheita, entre montante e jusante da área queimada. No primeiro momento, há um decréscimo dos teores entre o ponto A e C, situação idêntica verificada no segundo momento; já nos dois últimos momentos, o ponto A destaca-se com valores mais elevados, face ao ponto B, onde se verificou reduzida concentração na água da penúltima colheita e a ausência de N na última colheita, enquanto na Barragem de São Domingos (ponto C), o teor é mais elevado em relação ao ponto B.

Quadro 3.1. Concentração de N na água das diversas amostras.

Ponto A	N (mg l^{-1})	Ponto B	N (mg l^{-1})	Ponto C	N (mg l^{-1})
A1	1,121	B1	0,560	C1	0,000
A2	0,840	B2	0,420	C2	0,000
A3	0,420	B3	0,140	C3	0,700
A4	0,840	B4	0,000	C4	0,812

Estes resultados revelam a perda de N entre os pontos A e B, não se conseguindo aferir através destes, o *input* de N na água da Ribeira de São Domingos em função da água resultante da escorrência superficial da área ardida no Planalto de Cezaredas, visto os valores de ponto B serem muito reduzidos face aos do ponto A (Figura 3.6), com o decréscimo ao longo de todo o período de monitorização até se observar a inexistência de N na água da última colheita. Por outro lado, há valores mais elevados no ponto C, em particular nas águas das duas últimas colheitas, o que revela haver outras fontes que contribuem para este *input*. Assim, admite-se que a variação dos teores de N na água da barragem pode ser explicada pelo transporte de N na água do escoamento de outras linhas de água que escoam para jusante do ponto B (e.g. Ribeira de Carnide).

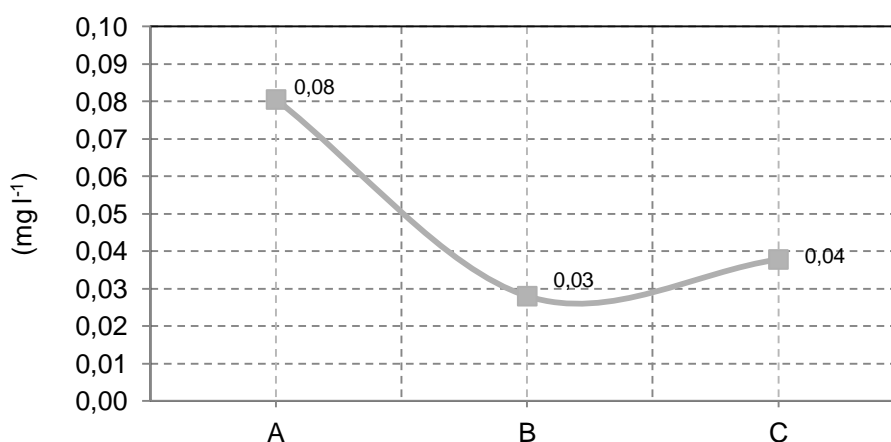


Figura 3.6. Média dos teores de N de todas as águas colhidas por local de amostragem (A, B e C).

A perda consecutiva de N na água colhida imediatamente a jusante da área ardida (ponto B), ao longo de todo o período, contrasta com o aumento progressivo de pH observado neste mesmo ponto, fator que pode explicar a consequente redução de N ao longo do tempo, por se proporcionar a sua volatilização com o aumento do pH.

3. 1. 4. VARIAÇÃO DO TEOR DE FÓSFORO

O teor de P medido em cada amostra de água variou consoante o local da sua colheita (Figura 3.7). Assim, a água da primeira colheita no Ponto A evidencia-se com o teor mais elevado de P ($0,2138 \text{ mg l}^{-1}$) no total das análises realizadas, tanto neste ponto, como nos resultados obtidos para as águas colhidas nos restantes locais a jusante. Porém, nas águas colhidas posteriormente verificou-se a redução do teor de P, com maior expressão entre a segunda e terceira colheita ($\Delta 0,1140 \text{ mg l}^{-1}$), destacando-se a água da última colheita, ao registar os valores mais reduzidos de P para este local a montante da área ardida.

Já no Ponto B a variação do teor de P é muito reduzida entre as várias águas aqui colhidas, variando inversamente, face aos resultados obtidos nas águas do ponto A. Neste ponto verificou-se o aumento do teor de P com o passar do tempo, registando-se na água da primeira colheita cerca de $0,1425 \text{ mg l}^{-1}$ de P, aumentando este teor nas águas da segunda e terceira colheita ($0,1574$ e $0,1506 \text{ mg l}^{-1}$, respetivamente), evidenciando-se a água da última colheita, com o teor mais elevado de P neste local a jusante da área ardida. ($0,1758 \text{ mg l}^{-1}$).

Na Barragem de São Domingos (Ponto C) a presença de P na água é escassa, conforme se pode observar pela análise do gráfico da Figura 3.7. Estes resultados podem refletir o efeito de diluição proporcionado pela quantidade de água armazenada nesta albufeira.

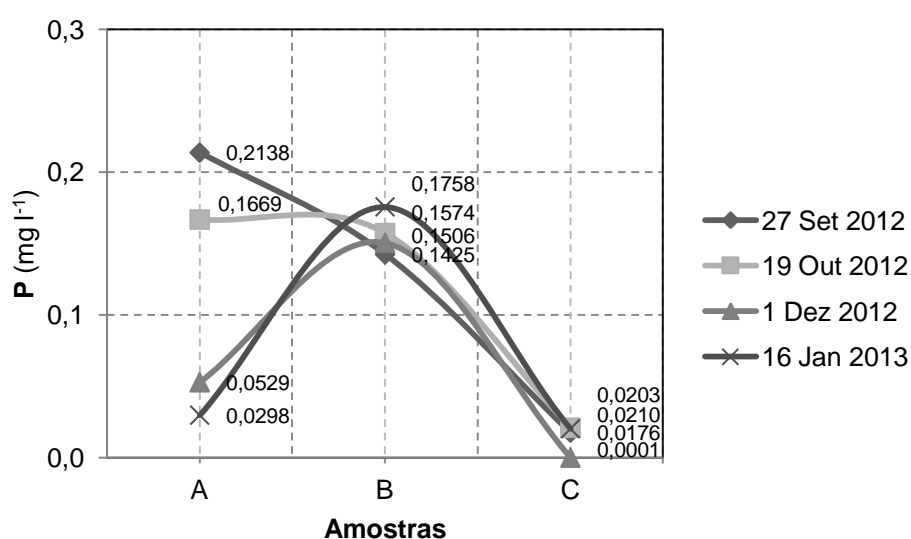


Figura 3.7. Variação da concentração de P na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).

No período de monitorização, a variação do teor de P nas águas dos diferentes locais selecionados para a amostragem é reduzida. Contudo verificou-se diferentes comportamentos ou *input* de P nas águas colhidas a montante e a jusante da área ardida (Figura 3.8). Nas águas do Ponto A observou-se uma redução de P ao longo de todo o período, efeito que não se verificou nas águas dos locais de amostragem a jusante da área ardida. Nos dois locais a jusante, embora se tenha observado pequenas flutuações entre a concentração de P, a diferença entre o teor das primeiras e últimas águas colhidas é pouco relevante ($\Delta 0,0333 \text{ mg l}^{-1}$ no Ponto B e $\Delta 0,0027 \text{ mg l}^{-1}$ no Ponto C). Verificou-se ainda ao longo do período de monitorização a tendência para o aumento do teor de P nas águas colhidas imediatamente a jusante da área queimada (Ponto B).

Nesta abordagem tem de se considerar a hipótese de haver variação do caudal da ribeira na influência dos resultados obtidos, sobretudo por proporcionar o aumento do efeito de diluição quando este caudal é maior.

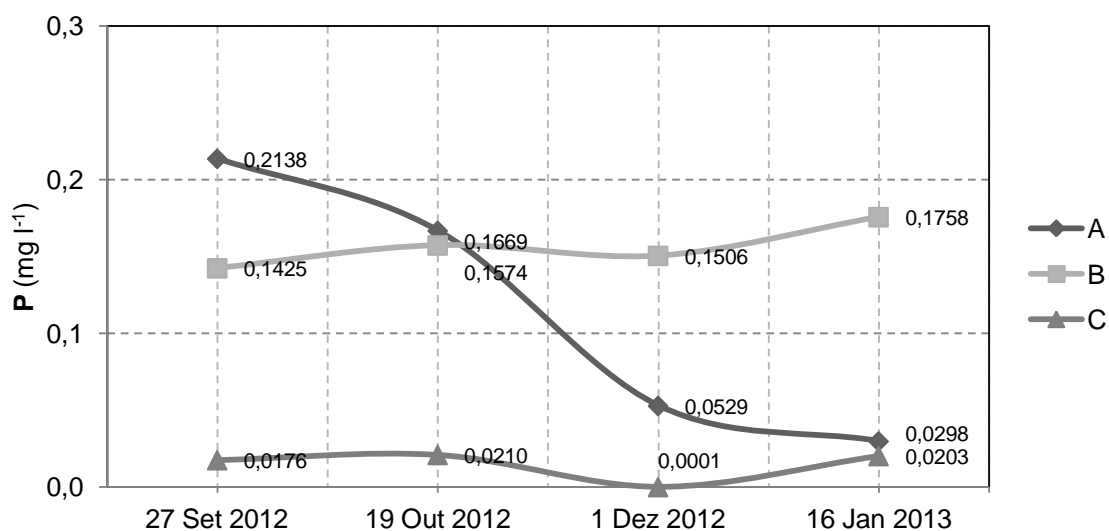


Figura 3.8. Variação da concentração de P nas amostras de água dos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.

Contudo, a partir dos valores médios do teor de P determinado nas águas de cada ponto de amostragem, nos quatro momentos, verificou-se o aumento do teor no ponto B (Figura 3.9), refletindo estes resultados o *input* deste nutriente nas águas da Ribeira de São Domingos, após a passagem pela área queimada e ter recebido água que escoou da mesma. De referir que este nutriente perde-se essencialmente por escorrência superficial.

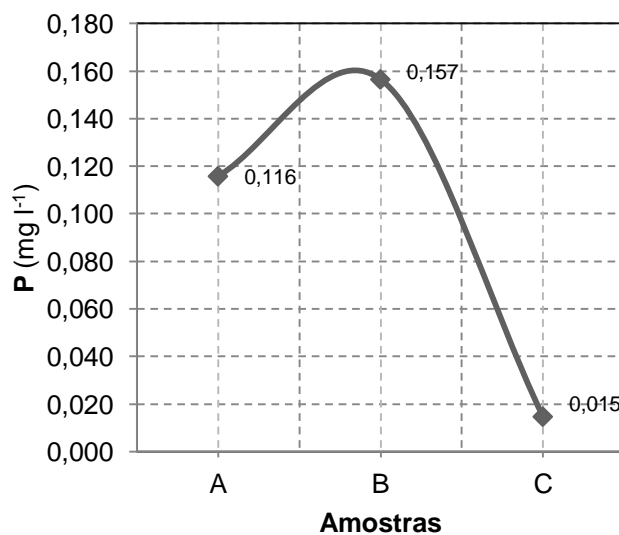


Figura 3.9. Média da concentração de P nas águas das amostras dos três locais de amostragem (A, B e C), considerando os quatro momentos de colheita.

3. 1. 5. BASES DE TROCA

3. 1. 5. 1. Cálcio

O teor de Ca nas amostras de água variou consoante o local onde foram colhidas as amostras de água, nos diferentes momentos. À exceção do primeiro momento de colheita de amostras, verifica-se sempre um aumento da concentração de Ca entre montante e jusante da área ardida (ponto A e B), embora com o passar do tempo se tenha observado a redução da concentração, de colheita para colheita (Figura 3.10).

A água da primeira colheita não revela aumento de Ca após a passagem pela área ardida, apenas uma fraca diminuição, facto difícil de explicar, pois verificou-se nos restantes elementos analisados (apresentados mais adiante) ser este o momento com os valores mais elevados de todo o período de monitorização.

Quanto aos teores de Ca na água da Barragem de São Domingos, estes correspondem aos valores mais reduzidos obtidos no conjunto das amostras colhidas, verificando-se entre os mesmos haver reduzida variação quando se considera os quatro momentos de colheita, devendo-se neste caso ao fator de diluição proporcionado pela quantidade de água disponível na albufeira desta barragem.

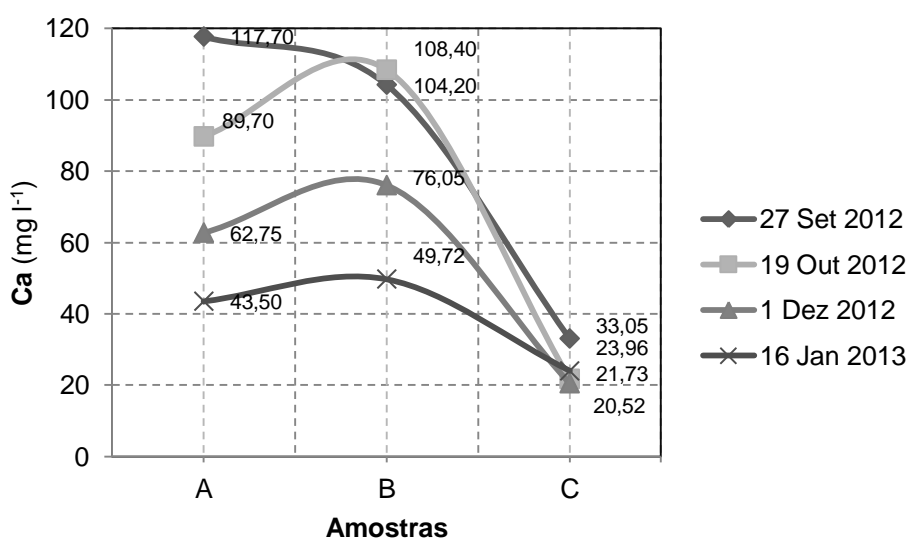


Figura 3.10. Variação da concentração de Ca na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).

Analisando a variação dos teores de Ca nos três pontos de colheita de amostras de água denota-se a redução ao longo do tempo (Figura 3.11), com maior expressão a montante da área ardida (Ponto A). No Ponto B o teor aumentou na água da segunda colheita, coincidindo este resultado com o período pluvioso com maior precipitação total, tendo-se assim proporcionado a escorrência superficial, o que causou o transporte deste nutriente até à Ribeira de São Domingos. Também se pode observar no

gráfico da Figura 3.11 que as águas do Ponto B, a partir desta segunda colheita, apresentaram concentrações de Ca superiores às amostras colhidas a montante da área ardida (Ponto A), embora se note, ainda, a aproximação da concentração entre os pontos A e B com o passar do tempo, resultado derivado da diminuição dos nutrientes disponíveis na superfície destas vertentes ardidas, devido à lixiviação e exportação ou arrastamento dos mesmos através da água da escorrência superficial que foi ocorrendo ao longo do tempo.

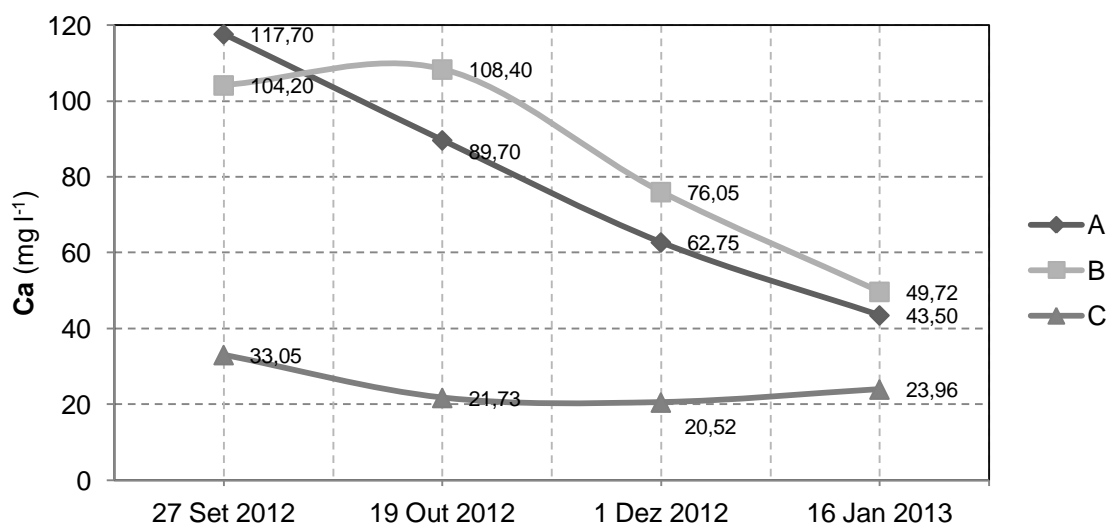


Figura 3.11. Variação da concentração de Ca nas águas colhidas nos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.

3. 1. 5. 2. Magnésio

Nesta avaliação também se observou que as águas colhidas no Ponto B se destacam com concentração mais elevadas de Mg, face às águas colhidas a montante da área ardida (Figura 3.12). O aumento de Mg entre os pontos A e B é acentuado nas águas colhidas no segundo momento (19 de Outubro de 2012), com uma diferença de 6,86 mg l⁻¹, esbatendo-se estas diferenças entre as concentrações de Mg nas águas colhidas posteriormente nos mesmos locais (5,08 e 1,7 mg l⁻¹, respetivamente). No primeiro momento de colheita de amostras também se observou elevada diferença de teores de Mg entre estes dois pontos (6,73 mg l⁻¹). Porém, no Ponto C verificou-se sempre valores inferiores de Mg, quando comparados com os valores dos pontos A e B, devendo-se neste caso ao efeito diluição já mencionado anteriormente.

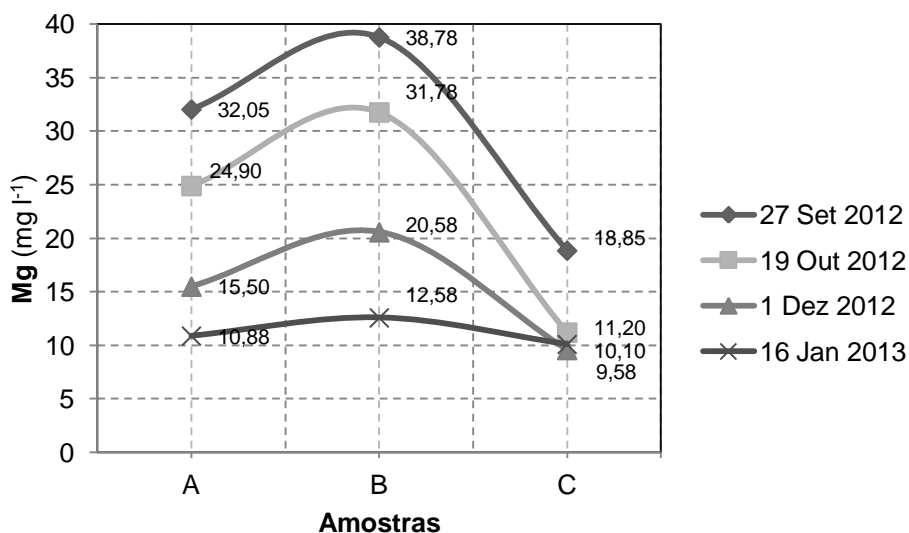


Figura 3.12. Variação da concentração de Mg na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).

Considerando os resultados do teor de Mg da água de cada ponto, no período monitorizado, verificou-se existir redução consecutiva de colheita para colheita, com exceção do Ponto C, onde se apurou um ligeiro aumento na água colhida a 16 de Janeiro (Figura 3.13). A diferença entre o teor das diversas amostras de água, além de ir reduzindo diferenciadamente ao longo deste período, vai-se aproximando com o passar do tempo, até cerca dos 10 a 12 mg l^{-1} . Estes resultados revelam a menor disponibilidade deste nutriente nestas vertentes ardidas, devido à consecutiva “lavagem” das mesmas pela precipitação que ocorreu durante o período considerado, sendo assim os primeiros momentos caracterizados pela maior exportação do mesmo, devido à sua maior disponibilidade.

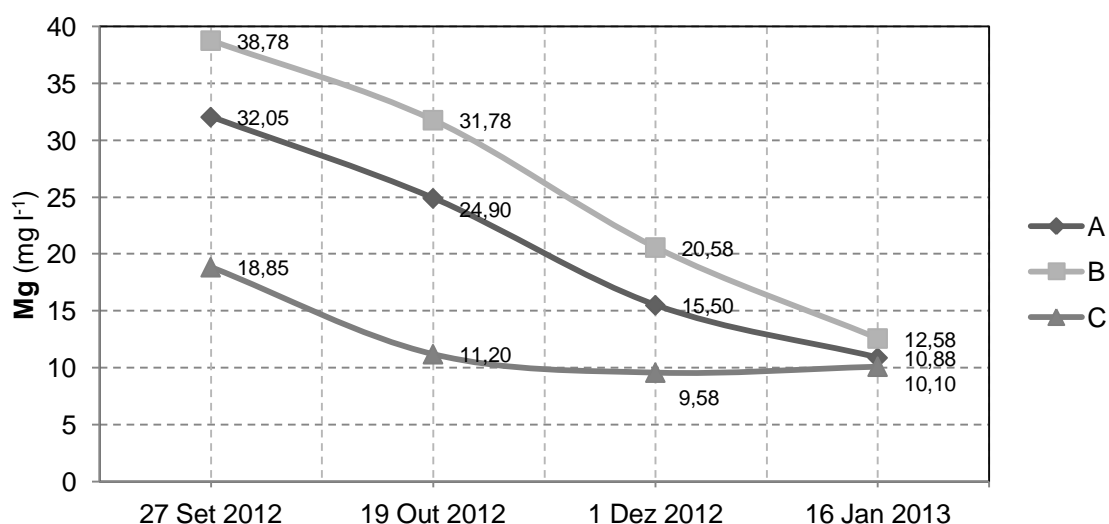


Figura 3.13. Variação da concentração de Mg nas águas colhidas nos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.

3. 1. 5. 3. Potássio

Os resultados do teor de K das águas analisadas refletem a existência do *input* deste nutriente nas águas da Ribeira de São Domingos, ao longo do troço coincidente com as áreas ardidas, mas em concentrações reduzidas. Através do gráfico da Figura 3.14, pode observar-se o aumento do teor de K do Ponto A para o Ponto B (com exceção das águas colhidas já em Janeiro), destacando-se nestes aumentos a diferença mais acentuada existente entre as águas da primeira colheita ($\Delta 23,1 \text{ mg l}^{-1}$).

Já nas águas da segunda colheita, o aumento de K entre os pontos A e B não foi tão expressivo ($\Delta 5,42 \text{ mg l}^{-1}$) como nas águas da primeira colheita, podendo explicar-se este resultado pela menor disponibilidade deste nutriente nas vertentes e também pelo efeito de diluição proporcionado pelo aumento do caudal da ribeira, uma vez que coincide com o período em que se registou maior precipitação média diária.

Na terceira colheita, registou-se o aumento mais reduzido de K nas águas entre montante e jusante da área ardida, devendo-se neste caso também às duas situações anteriormente referidas, i.e., menor disponibilidade pela consecutiva exportação deste nutriente das vertentes afetadas pelo incêndio, isto porque esta colheita de águas foi feita após um mês em que ocorreu diariamente precipitação, o que originou também a variação do caudal da ribeira, podendo refletir-se na diluição deste nutriente.

Nas águas da última colheita verificou-se a redução consecutiva do teor de K entre os pontos A, B e C, verificando-se neste último ponto, o teor deste nutriente muito próximo ao obtido nas águas do Ponto A para os quatro momentos em análise. Esta redução entre B e C resulta, essencialmente, do efeito diluição proporcionado pela água da albufeira da Barragem de São Domingos.

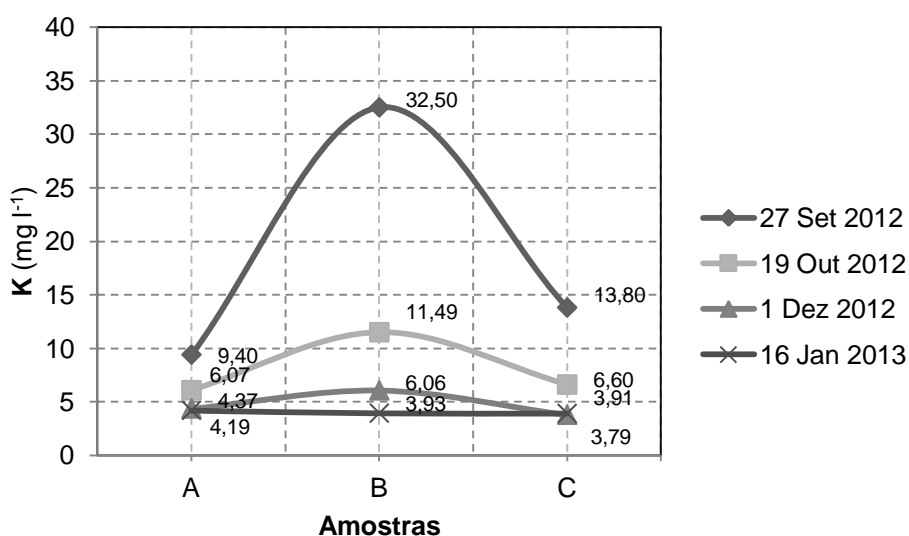


Figura 3.14. Variação da concentração de K na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).

Considerando a variação do teor de K nas águas colhidas por cada ponto, ao longo do período de monitorização verificou-se, no geral, a redução sucessiva, mais acentuada no Ponto B (Figura 3.15). Também se observou que, com o passar do tempo, a diferença entre o teor de K das várias águas analisadas vai-se esbatendo, obtendo-se já nas águas da última colheita valores muito próximos.

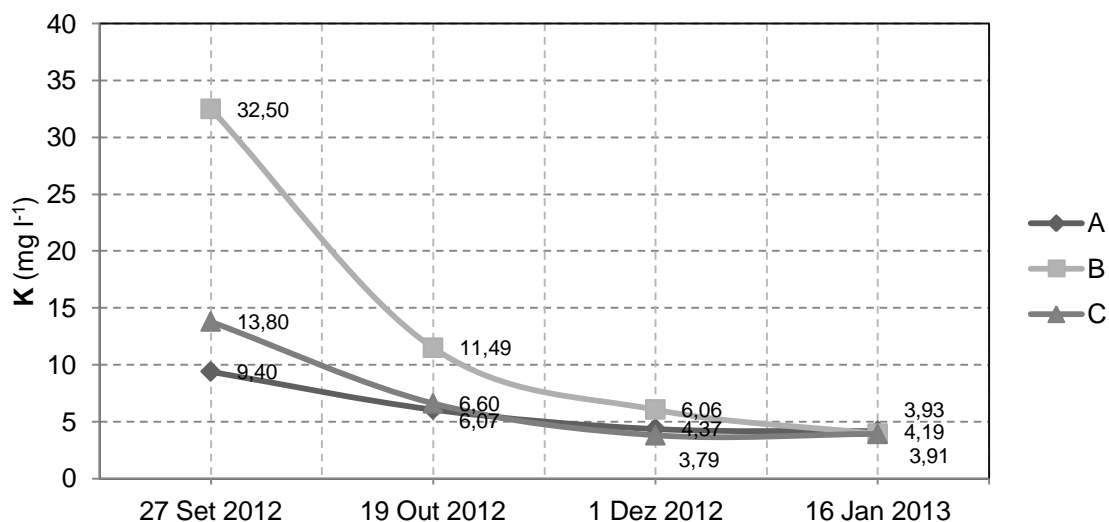


Figura 3.15. Variação da concentração de K nas águas colhidas nos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.

3. 1. 5. 4. Sódio

A variação do teor de Na nas águas analisadas também é variável entre os vários pontos de colheita, com um aumento entre os pontos A e B e redução em C, situação semelhante ao verificado no caso do nutriente anteriormente avaliado (K), mas neste caso com um aumento progressivo da concentração de Na nas águas da última colheita (Figura 3.16). Entre montante e jusante da área queimada (pontos A e B) o aumento mais acentuado de Na verificou-se entre as águas colhidas no segundo momento ($\Delta 9,32 \text{ mg l}^{-1}$), variação que reduziu entre as águas da terceira e quarta colheita ($\Delta 8,35$ e $3,27 \text{ mg l}^{-1}$, respetivamente). Esta variação mais acentuada da concentração de Na nas águas da segunda colheita coincide com o período em que ocorreu mais precipitação (facto já anteriormente referido), proporcionando-se, assim, maior capacidade de exportação deste nutriente até à ribeira pela água da escorrência superficial nas vertentes desprovidas de vegetação (ardidas).

Na Barragem de São Domingos, a primeira água colhida continha cerca de $48,75 \text{ mg l}^{-1}$ de Na, mas nas águas posteriormente colhidas verificou-se uma redução para valores próximos a 30 mg l^{-1} , concentração que variou muito pouco até ao final do período de monitorização, conforme se pode observar na Figura 3.16.

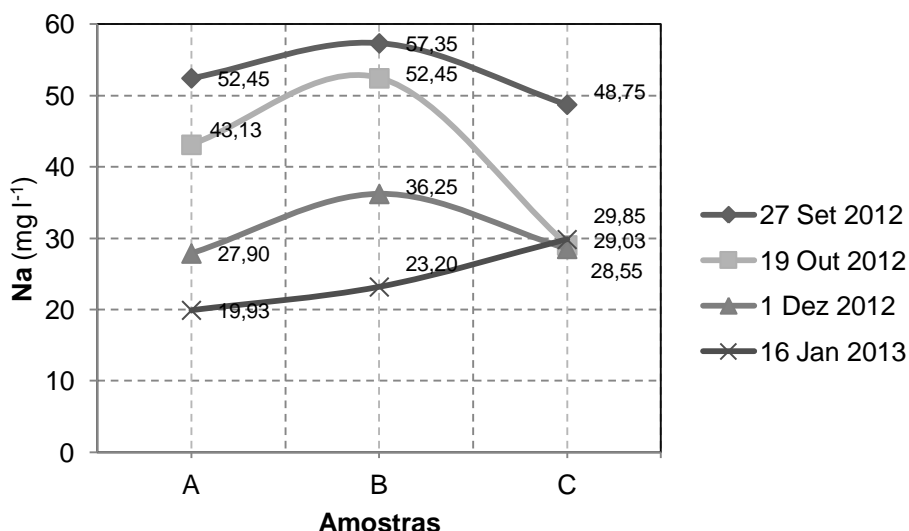


Figura 3.16. Variação da concentração de Na na água colhida a montante da área ardida (A), a jusante da área ardida (B) e na Barragem de São Domingos (C).

Ao longo do período de monitorização, verificou-se nos pontos A e B a redução do teor de Na nas águas analisadas, embora no Ponto B (a jusante da área ardida) os níveis obtidos foram sempre superiores, o que indica haver *input* deste nutriente na água da ribeira através da água drenada da área queimada (Figura 3.17). Quanto à água da Barragem de São Domingos, a concentração de Na reduziu da primeira para a segunda colheita e manteve-se praticamente neste valor (com reduzida variação) até ao final do período de monitorização (aumento de apenas 0,82 mg l⁻¹ entre 19 de Outubro e 16 de Janeiro).

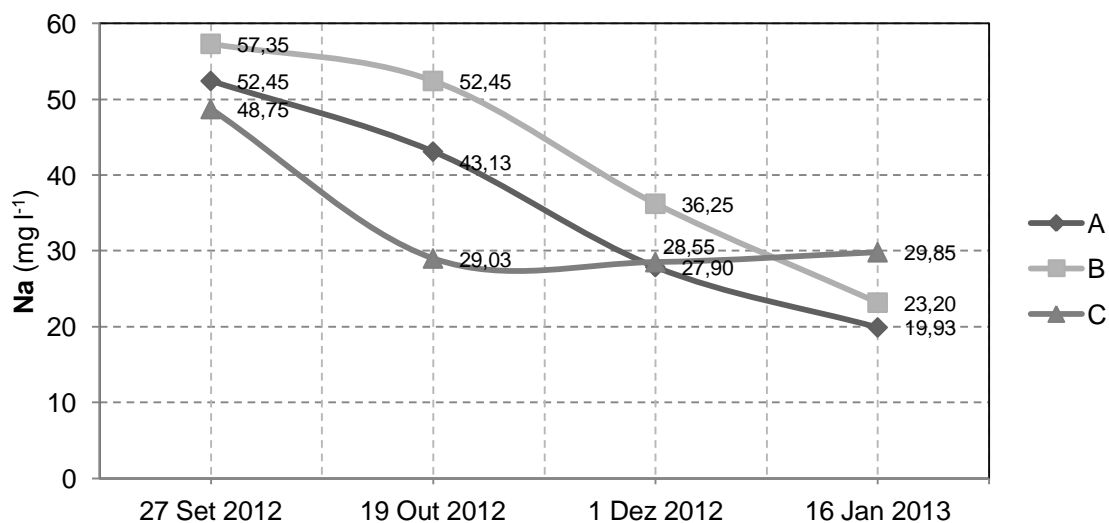


Figura 3.17. Variação da concentração de Na nas águas colhidas nos três locais de amostragem (A, B e C), ao longo do período de monitorização.

3. 1. 5. 5. Variação média do teor das bases de troca nos três locais de amostragem

A variação dos teores das bases de troca foi distinta de ponto para ponto de amostragem, como se pode observar pela análise do gráfico da Figura 3.18.

O Ca apresenta-se com a maior concentração média, tanto no ponto de amostragem A, como no ponto B, com forte redução no ponto C. Já os nutrientes Mg, Na e K apresentam menores variações de teor entre os três locais de amostragem, destacando-se este último com as menores concentrações do conjunto.

Contudo, observou-se o aumento do teor médio de todos os nutrientes entre o ponto A e B, refletindo estes resultados a influência das águas que escoaram da área queimada (transporte de nutrientes) no aumento das concentrações destes elementos químicos na água que circulou pela Ribeira de São Domingos durante o período de monitorização.

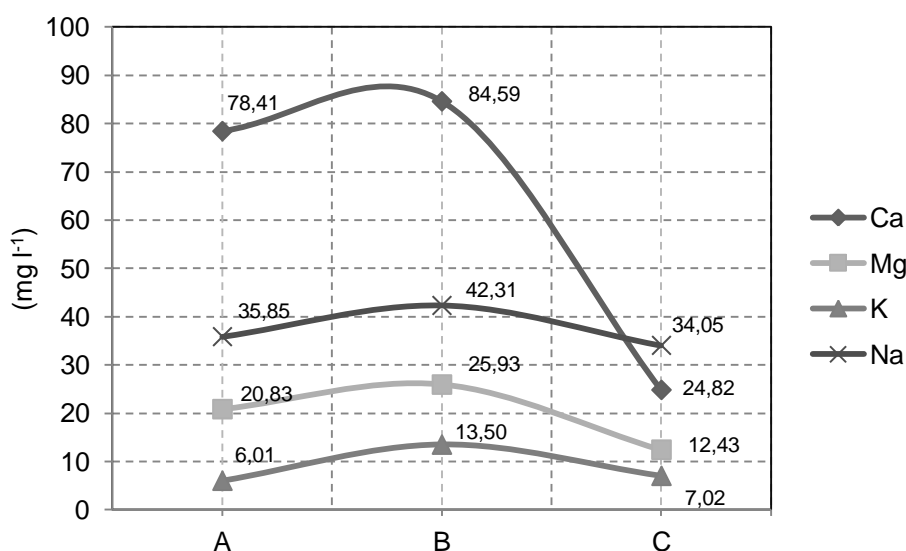


Figura 3.18. Média dos teores das bases de troca por local de amostragem.

3. 2. CONDICIONAMENTO DA MIGRAÇÃO DE NUTRIENTES PELA GEOMORFOLOGIA DA ÁREA QUEIMADA E PELA REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO

A área em análise apresenta determinadas formas geomorfológicas que podem condicionar a circulação da água entre as vertentes e a Ribeira de São Domingos (e.g. pequenos socacos na meia vertente, depressões cársticas, entre outras). Além destas, na superfície do solo das vertentes ardidas existem irregularidades que podem ter condicionado a escorrência superficial, nomeadamente pequenos sulcos ou depressões resultantes da queima da vegetação arbustiva e arbórea que aqui existia.

Verificou-se, *in loco*, que onde existiam árvores e o seu tronco foi totalmente queimado (Figura 3.19), resultaram cavidades no solo (antes ocupada pelos troncos) que proporcionaram a retenção e infiltração da água que escoou para as mesmas. Este fator interferiu certamente na quantidade de água que chegou até à Ribeira de São Domingos, resultante da circulação ou escorrência superficial sobre estas vertentes ardidas.



Figura 3.19. Depressão no solo resultante da queima de um tronco de pinheiro.

Os parâmetros hidrológicos são influenciados pela vegetação, variando esta influência em função das propriedades físicas da mesma, do grau de cobertura do solo, entre outros fatores. Este coberto do solo faculta a redução da escorrência superficial, a retenção de sedimentos, o aumento da capacidade de infiltração no solo e absorção pelas plantas, o que de certa forma vai conduzir à redução do transporte de nutrientes (BURBANO-GIRÓN *et al.*, 2009). Neste contexto, considera-se que a regeneração do coberto vegetal nas vertentes ardidas do Planalto de Cezaredas proporcionou a retenção de parte da água da precipitação e contribuiu, de certa forma, para a redução do transporte de nutrientes até à Ribeira de São Domingos, ao verificar-se que grande parte dos eucaliptos rebentou de toíça pouco tempo após o incêndio, outras espécies arbóreas não foram muito afetadas pelo fogo (e.g. Pinheiros adultos que cresceram de forma dispersa), e também pelo despontar de algumas espécies herbáceas após o fogo, tendo-se verificado *in loco* maior desenvolvimento deste tipo de cobertura vegetal a partir de Janeiro de 2013 (Figura 3.20).



Figura 3.20. Vertente do Planalto de Cezaredas queimada durante o incêndio de 19 de Julho de 2012, com a regeneração do coberto vegetal em 23 de Fevereiro de 2013.

A Figura 3.20.A ilustra pequenas depressões na superfície do solo, com vestígios de material depositado resultante do transporte da escorrência superficial proveniente de áreas a montante. A Figura 3.20.B ilustra um tronco de pinheiro queimado, com água retida na cavidade formada durante a queima. A Figura 3.20.C ilustra lapíás alveolar ou alvéolos de dissolução do calcário, também com água retida nas suas cavidades.

Os solos das vertentes ardidas são essencialmente argilosos e devido à sua constituição física pode ter havido implicações no escoamento superficial, pelo condicionamento da água que se infiltrou, visto estes solos terem poros de diâmetro reduzido (permeabilidade reduzida). Esta reduzida dimensão dos poros reflete-se na velocidade de infiltração, sendo que numa chuvada, a taxa de infiltração é muito elevada ao início, diminuindo rapidamente na primeira hora (rápida saturação destes solos), mantendo-se mais ou menos constante durante o resto da chuvada (LENCASTRE e FRANCO, 1984). Devido ao fogo dá-se uma modificação da estrutura do solo (alteração da estabilidade dos agregados) e, também, a fusão de partículas finas (LANE et al., 2011), que ocasionam a redução da quantidade de água que se infiltra, resultando no aumento do escoamento após a ocorrência dos incêndios, facto já exposto em alguns estudos (e.g. ROBICHAUD, 2000; MOODY e MARTIN, 2001; SMITH *et al.*, 2011b).

Todos estes fatores tiveram influência na quantidade de nutrientes exportados pela água da escorrência superficial das áreas ardidas até à Ribeira de São Domingos, sendo complexo avaliar ou

estabelecer uma estrita relação entre estes e a variação do teor de nutrientes observado nas diversas águas analisadas nesta dissertação.

3. 3. TEOR DE NUTRIENTES NAS ÁGUAS ANALISADAS

O teor dos principais nutrientes determinados na totalidade das águas colhidas na Ribeira de São Domingos e Barragem de São Domingos é, de uma forma geral, reduzido. Destes, destaca-se o Ca pela concentração mais elevada nas diversas amostras de água, como se pode verificar no Quadro 3.2 (med.= 37,580 mg l⁻¹). A concentração elevada deste nutriente nas águas, face aos restantes nutrientes em avaliação nesta dissertação, também foi observada em estudos em que se comparou resultados de análises químicas de águas resultantes do escoamento superficial em situações de pré-fogo e pós-fogo, como por exemplo os estudos apresentados por GOTTFRIED e DEBANO (1990) e JUNG *et al.* (2009), o que revela a fácil perda deste soluto (Ca²⁺) pela escorrência superficial.

Contudo, verificou-se através dos resultados obtidos que há variação do teor deste nutriente (Ca) na água da ribeira em avaliação, em função do local de colheita das amostras (montante ou jusante da área ardida) e, também, pela quantidade de precipitação ocorrida sobre as vertentes num determinado período temporal. Este último fator interfere na geração de escorrência superficial, o que se pode refletir na maior ou menor capacidade de exportação ou arrastamento de nutrientes das vertentes ardidas para a Ribeira (variação da quantidade). Por outro lado, quanto mais precipitação ocorrer nestas áreas, maior é o caudal da ribeira, fator que proporciona a diluição dos elementos químicos que aqui chegaram através do escoamento superficial.

O Na também apresenta concentrações elevadas nas águas, considerando os resultados obtidos nos restantes nutrientes em avaliação.

Quadro 3.2. Parâmetros estatísticos do teor de nutrientes das águas analisadas.

	Na	K	Mg	Ca	P	N
	----- mg l ⁻¹ -----					
Máximo	57,350	32,500	38,780	117,700	0,214	1,121
Mínimo	19,930	3,790	9,580	20,520	0,000	0,000
Média	37,580	10,171	20,367	63,536	0,097	0,498
Mediana	33,050	6,065	17,175	56,235	0,098	0,490
Desvio Padrão	12,850	8,133	10,018	35,825	0,078	0,387

O P e N foram os únicos nutrientes em que se registou ausência em determinadas águas. Estes também se destacam com o teor médio mais reduzido, considerando a totalidade de nutrientes em análise (0,097 e 0,498 mg l⁻¹, respetivamente). Estes resultados indicam a existência de reduzida exportação destes dois tipos de nutrientes pela escorrência superficial das vertentes ardidas, daí as

reduzidas concentrações nas águas da Ribeira de São Domingos. Estes resultados podem ainda ser o reflexo da reduzida disponibilidade destes nutrientes nas vertentes ardidas (as cinzas são geralmente pobres em N, uma vez que este elemento tende a volatilizar-se com o fogo) e do efeito de diluição dos elementos químicos, tanto na água da ribeira considerada (variação do caudal), como na água armazenada na Barragem de São Domingos. No caso do N admite-se ainda a perda por volatilização ao longo da Ribeira, refletindo-se esta na ausência ou reduzida concentração nas águas a jusante, como se verificou através das águas colhidas no primeiro e segundo momento na Barragem de São Domingos (C1 e C2).

Refere-se ainda que durante os incêndios florestais, grande parte do N perde-se para a atmosfera sob a forma de N_2 , ficando uma parte muito reduzida incorporada nas cinzas (FERREIRA *et al.*, 2010b). Destas cinzas resultou a fração de azoto que foi exportada até às águas da Ribeira, por um lado pela água que proporcionou diretamente o seu arrastamento, por outro, por partículas de solo que o adsorveram à superfície (processo referido em THOMAS *et al.*, 1999), e também foram transportadas das vertentes ardidas até este curso de água pela escorrência superficial.

3. 3. 1. RELAÇÃO ENTRE O TEOR DOS VÁRIOS ELEMENTOS QUÍMICOS DA ÁGUA

Dos vários elementos químicos analisados nas águas, verifica-se que a correlação entre as bases de troca é bastante elevada positivamente, com exceção do P onde se verificou reduzida correlação com o K (0,25), conforme se pode observar no Quadro 3.3. Estes resultados indicando-nos que quanto maior é o teor de um determinado nutriente nas águas analisadas maior será a concentração dos restantes elementos, evidenciando estes a variação semelhante do transporte destes elementos das áreas ardidas para as águas da Ribeira de São Domingos.

Quadro 3.3. Matriz de coeficientes de correlação entre os diversos elementos químicos das águas analisadas.

Variáveis	Na	K	Mg	Ca	P	CE
Na	1,00	0,75	0,92	0,73	0,50	0,88
K	0,75	1,00	0,76	0,48	0,25	0,70
Mg	0,92	0,76	1,00	0,91	0,71	0,99
Ca	0,73	0,48	0,91	1,00	0,86	0,95
P	0,50	0,25	0,71	0,86	1,00	0,77
CE	0,88	0,70	0,99	0,95	0,77	1,00

Na análise fatorial pode verificar-se os casos com comportamentos semelhantes, como é o caso da variação dos diversos elementos químicos nas águas da Barragem de São Domingos e, também, os que se diferenciam, nomeadamente B1, como se pode observar na análise da Figura 3.21. Esta distinção do ponto B1 deve-se, essencialmente, à presença de concentrações mais elevadas dos

vários elementos químicos analisados nas águas colhidas neste momento, demonstrando haver influência ou perturbação das concentrações na água neste local, em função da água que escoou da área queimada.

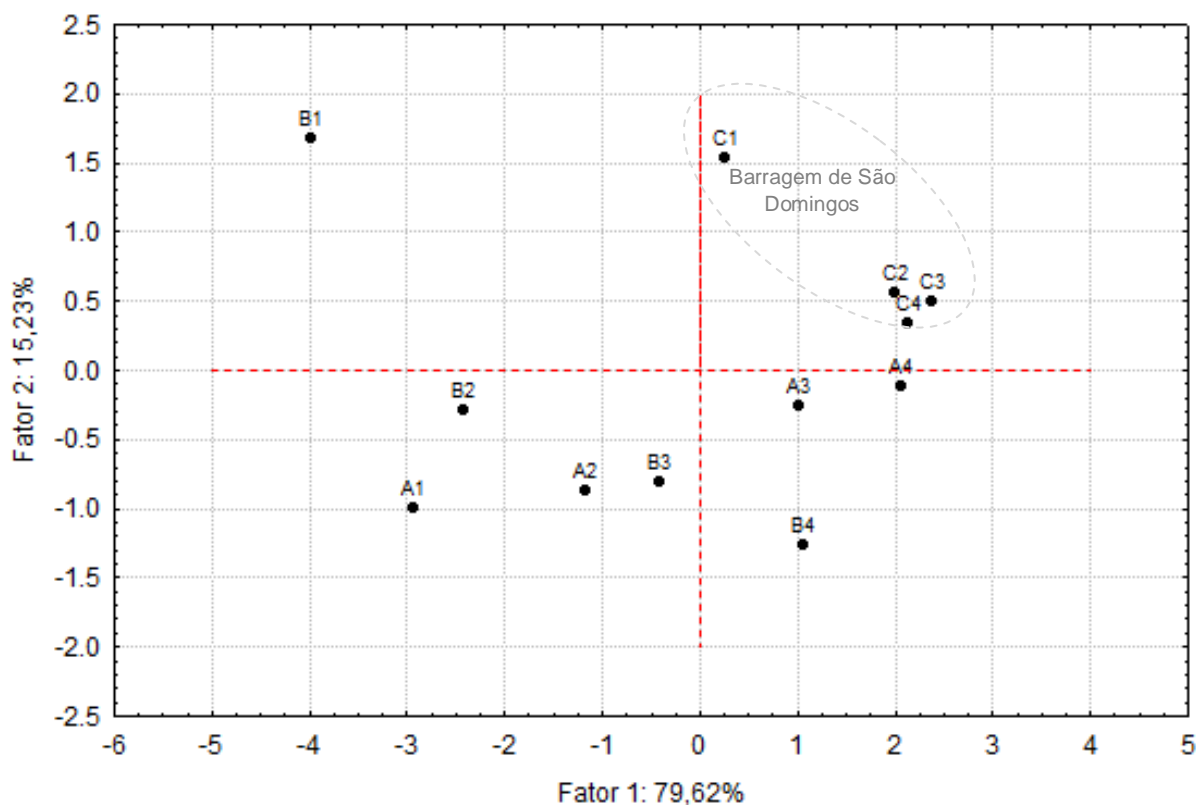


Figura 3.21. Relação entre o fator 1 e 2 obtidos a partir dos elementos químicos analisados nos diferentes pontos de amostragem.

3. 4. RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO E O TEOR DE NUTRIENTES OBSERVADO NAS ÁGUAS

Como já foi referido anteriormente, a exportação dos nutrientes das vertentes ardidas do Planalto de Cezaredas deve-se, sobretudo, à escorrência superficial que ocorreu nesta área, tornando-se esta água o agente mais importante no transporte dos nutrientes depositados na superfície destes solos (após o incêndio) até aos cursos de água aqui presentes. Neste sentido, a quantidade de precipitação que caiu sobre estas vertentes ardidas, foi fundamental na geração desta escorrência superficial, tornando-se assim importante analisar em conjunto, os valores de precipitação registados nas diversas estações meteorológicas da área envolvente ao Planalto, com o teor dos vários elementos químicos analisados na água da Ribeira de São Domingos.

Para esta avaliação, considerou-se a precipitação média do período pluvioso antecedente a cada colheita das amostras de água (valores apresentados no Quadro 2.3). A relação obtida entre estes

valores de precipitação e os valores médios de cada nutriente nos quatro momentos de colheita é bastante variável consoante o local de amostragem e, também, em função do nutriente em causa (Quadro 3.4).

A montante da área ardida (Ponto A) verificou-se que quanto maior é o valor da precipitação, maior é a concentração dos nutrientes nas águas aqui colhidas, com exceção do N. Os nutrientes que se destacam com maior relação entre o teor observado nas águas e a quantidade de precipitação ocorrida são o Na e P ($R^2 = 0,62$), embora o Mg e Ca também apresentem elevada relação ($R^2 = 0,57$ e $0,53$, respetivamente). Estes resultados revelam a influência da quantidade de precipitação que caiu sobre estas vertentes (pela geração de escorrência superficial), na exportação destes nutrientes até aos cursos de água.

Quadro 3.4. Relação entre o somatório da precipitação média diária para cada evento pluvioso antecedente a cada colheita, com o teor de nutrientes (mg l^{-1}) nas águas colhidas nos três pontos de amostragem nos quatro momentos.

Precipitação*		Na	K	Mg	Ca	P	N
Ponto A	R^2	0,62	0,26	0,57	0,53	0,62	0,06
	Correlação	0,79	0,51	0,75	0,73	0,79	0,25
Ponto B	R^2	0,76	0,18	0,64	0,90	0,30	0,65
	Correlação	0,87	0,42	0,80	0,95	-0,55	0,81
Ponto C	R^2	0,03	0,19	0,09	0,00	0,05	0,79
	Correlação	0,16	0,43	0,31	0,06	0,22	-0,89

*Precipitação média total do período pluvioso antecedente a cada colheita de amostras de água, registada nas estações meteorológicas Areia Branca, Baleal, Barragem de Magos, Rego da Murta, Sobral da Abelheira e São Julião do Tojal.

A jusante da área ardida (Ponto B) também se verificou a variação do teor de nutrientes nas águas em função da precipitação ocorrida, destacando-se nos nutrientes considerados o Ca, pela correlação mais elevada (0,95) com a precipitação ocorrida. Nesta análise, o Na, Mg e N também se destacam com valores elevados de correlação, ao contrário do P, onde se observou a variação do teor contrariamente aos valores de precipitação, i.e., quanto mais precipitação, menor a concentração deste. Contudo, verifica-se que esta relação entre os teores e a precipitação é superior ao verificado no Ponto A, com exceção do K e P, evidenciando-se a maior capacidade destes nutrientes chegarem até aos cursos de água, o que traduz as concentrações mais elevadas verificadas nestas águas.

A fácil geração de escorrência superficial nestas áreas ardidas e, também, a maior disponibilidade destes nutrientes na superfície dos solos, podem explicar as quantidades de nutrientes exportadas por cada episódio pluvioso, daí o teor e a precipitação correlacionarem-se positivamente.

Já na Barragem de São Domingos, a relação entre precipitação e teor de nutrientes é menos evidente, devendo-se neste caso à quantidade de água acumulada nesta albufeira (diluição dos nutrientes) e ao facto desta estar estagnada, o que pode causar “efeito tampão” às águas para aqui drenadas. Estes fatores podem explicar a reduzida variação da concentração de nutrientes nas águas

colhidas neste local, em função da precipitação ocorrida, havendo reduzida semelhança entre os resultados aqui obtidos com o que se observou nos cursos de água que para aqui desaguam.

3. 5. RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO E OS ELEMENTOS QUÍMICOS ANALISADOS NAS ÁGUAS

Nesta secção apresenta-se a relação entre algumas variáveis físicas da área de estudo (Quadro 3.5), neste caso por setores da área de estudo (conforme representado na Figura 2.13), e os teores dos diversos elementos químicos analisados nas águas.

O setor b_C é o que compreende uma área maior, dos três setores considerados na AE, destacando-se este por apresentar as vertentes com o maior declive (máximo de 72,2 graus) e, também, o maior declive médio. Aqui localiza-se o ponto de amostragem mais distante a jusante da área ardida, compreendendo os cursos de água (Rio e Ribeira de São Domingos) cerca de 3,7 km. Este setor recebe as águas drenadas de montante (dos setores b_A e b_B), totalizando-se cerca de 30213750 m² de área total drenada até ao ponto C.

Quadro 3.5. Características físicas dos setores da bacia hidrográfica e a média dos teores dos vários elementos químicos analisados nas águas dos três locais de amostragem.

Setor da Bacia Hidrográfica			
	Montante do Ponto A (b_A)	Montante do Ponto B (b_B)	Montante do Ponto C (b_C)
Área (m ²)	4565250	2795500	22853000
Área drenada (m ²)	4565250	7360750	30213750
Área queimada (m ²)	0	148698	332866
Área total do setor queimada (%)	0	11,91	0,65
Min.	0	0	0
Declive das vertentes			
(Graus)			
Max.	43,08	46,69	72,22
Med.	2,90	1,55	3,78
D.P.	6,13	4,71	8,80
Distância (m) dos cursos de água principais entre os pontos A, B e C e a área queimada	117,00	63,00	3765,00
P med. (mm) resultante da interpolação (ver Figura 2. 13)	3,80	3,82	3,88
Ponto de colheita de amostras	A	B	C
pH	8,343	8,343	8,805
CE (dS cm ⁻¹)	0,007	0,008	0,004
N (mg l ⁻¹)	0,081	0,028	0,038
P (mg l ⁻¹)	0,116	0,157	0,015
Ca	78,413	84,593	24,815
Bases de Troca			
(mg l ⁻¹)			
Mg	20,833	25,930	12,433
K	6,008	13,495	7,025
Na	35,853	42,313	34,045

De realçar o setor b_C com o valor de precipitação média (obtida a partir dos valores estimados) mais elevado nos três setores e o b_B com a maior percentagem de área queimada que drenou diretamente para a ribeira.

A partir da correlação estabelecida entre os parâmetros da área de estudo com a média dos teores dos elementos químicos (Quadro 3.6), verificou-se que quanto mais área queimada no setor, maior a concentração dos elementos químicos na água, com exceção do N. Por outro lado, verificou-se que quanto maior é a distância à área queimada, menor a concentração dos vários elementos químicos, o que não se verificou no caso do pH, observando-se através dos resultados obtidos elevada correlação positiva entre este e a área drenada, a precipitação média e, também, com os declives das vertentes dos três setores. Entre o valor médio dos declives das vertentes e a média dos teores dos vários elementos químicos obteve-se elevada correlação negativa, isto porque grande parte das vertentes mais íngremes do Planalto de Cezaredas é compreendida pelo setor b_C .

Quadro 3.6. Coeficientes de correlação entre as características físicas dos setores da bacia hidrográfica (b_A , b_B e b_C), precipitação estimada e os valores médios de pH, da condutividade elétrica (CE em dS cm^{-1}) e dos teores (mg l^{-1}) dos vários elementos químicos avaliados nas águas dos três locais de amostragem.

	pH	CE	N	P	Bases de Troca			
					Ca	Mg	K	Na
Área total de drenagem (m^2)	1,00	-0,93	-0,43	-0,93	-0,98	-0,89	-0,29	-0,59
Área queimada (m^2)	0,90	-0,74	-0,72	-0,74	-0,85	-0,66	0,06	-0,27
Área total do setor queimada (%)	-0,25	0,51	-0,82	0,51	0,34	0,60	0,99	0,89
Declive med. das vertentes dos setores	0,80	-0,93	0,29	-0,94	-0,85	-0,97	-0,86	-0,98
Distância à área queimada (m)	1,00	-0,97	-0,33	-0,96	-1,00	-0,93	-0,40	-0,68
P med. (mm) por setor	0,97	-0,87	-0,56	-0,87	-0,94	-0,81	-0,15	-0,47

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os incêndios florestais têm impactes na qualidade da água, devido ao transporte de elementos químicos das áreas ardidas (pela água de escorrência superficial) e consequente *input* nos cursos de água superficiais, do qual resulta a alteração química da água. Desta forma, a localização das áreas afetadas por incêndios florestais é importante, pela extensão das consequências ao longo dos cursos de água superficiais, pois quanto mais a montante da bacia hidrográfica se localizarem as áreas ardidas, maior será o percurso da água afetada (ou contaminada), facto verificado nesta dissertação ao observar-se a presença de elementos resultantes do incêndio florestal que ocorreu no Planalto de Cezaredas na água da Barragem de São Domingos, encontrando-se assim a resposta à questão inicial n.º 1. O escoamento superficial destas áreas localizadas a montante das bacias hidrográficas é menor, devido à reduzida área de captação da precipitação, o que pode refletir-se na elevação da concentração dos elementos químicos das águas deste escoamento (menor diluição).

A partir dos resultados apresentados nesta dissertação verificou-se o aumento da concentração da maioria dos nutrientes avaliados nas águas colhidas na Ribeira de São Domingos, imediatamente após a área queimada. Contudo, este aumento de concentração não foi muito elevado (foi menor do que seria expectável), talvez devido ao facto da área ardida corresponder apenas a uma pequena proporção da área drenada da bacia em estudo, pelo que se terá certamente verificado um efeito de diluição dos nutrientes arrastados. Porém, os resultados obtidos revelaram a existência da exportação de nutrientes entre as vertentes ardidas e os cursos de água a jusante das mesmas, pois verificou-se que a montante destas, o teor de nutrientes na água da ribeira em análise foi, na generalidade, inferior. Verificou-se, ainda, que as concentrações de nutrientes na água são superiores nas duas primeiras colheitas, facto que revela a maior exportação devido à maior disponibilidade dos mesmos nas vertentes ardidas. Na exportação destes nutrientes foi determinante a quantidade de precipitação que caiu sobre as vertentes ardidas para a geração de escorrência superficial (agente de mobilização), isto porque os resultados das águas da segunda colheita (onde se registaram os valores de precipitação média diária mais elevados) apresentam valores próximos aos da primeira (em alguns casos são superiores), admitindo-se já neste segundo período chuvoso a menor disponibilidade de nutrientes, em função das perdas que ocorreram no primeiro período chuvoso. Estes resultados evidenciam a importância da quantidade de precipitação que incide sobre as áreas ardidas na geração de escorrência superficial e consequente mobilização de substâncias ou elementos químicos para jusante. Esta é a resposta à questão de partida n.º 2.

A precipitação que caiu nos primeiros episódios chuvosos foi fundamental para a geração de escorrência superficial na área ardida e consecutivo arrastamento dos elementos químicos para a Ribeira de São Domingos. Todavia, não foi possível estabelecer uma forte relação entre a escorrência superficial que ocorreu no período de monitorização com as concentrações dos elementos químicos determinados nas águas. Admite-se a hipótese da escorrência superficial que ocorreu no final do período ser igual ou até superior às dos primeiros períodos chuvosos, mas devido

à menor disponibilidade dos elementos químicos nas áreas queimadas com o passar do tempo (devido às perdas que ocorreram nos primeiros episódios pluviosos) tornou-se difícil estabelecer uma forte relação entre ambos. Também se refere a existência de outras condicionantes na escorrência superficial no fim do período de monitorização, como é o caso da regeneração do coberto vegetal. Esta é a resposta à questão n.º 3.

Nas águas das últimas colheitas obteve-se teores de nutrientes muito reduzidos (destaque para os resultados da quarta colheita), não se verificando grandes diferenças entre as águas colhidas a montante e jusante da área ardida. Estes últimos resultados devem-se à menor disponibilidade de nutrientes nas vertentes ardidas (áreas “lavadas” pela precipitação que ocorreu anteriormente) e, também, devido à regeneração da vegetação, fator condicionante da escorrência superficial.

Quanto aos elementos analisados nas águas colhidas na Ribeira de São Domingos (N, P, Ca, Mg, K, Na e teor de sais) verificou-se haver o seu arrastamento em diferentes quantidades das áreas ardidas, sobressaindo o Ca com as concentrações mais elevadas nos quatro momentos de análise nos três locais de amostragem, encontrando-se assim a resposta à questão n.º 4.

As elevadas quantidades de Ca obtidas, mesmos nas amostras colhidas a montante da área ardida, deverão estar relacionadas com a maior disponibilidade natural deste elemento nestas áreas constituídas essencialmente por calcários e margas, onde as atividades antrópicas têm influência na quantidade de elementos e compostos que chegam até à Ribeira de São Domingos (e.g. pedreira). Este nutriente destaca-se pelo aumento da concentração nas águas entre a primeira e segunda colheita no ponto B (jusante da área ardida), com mais 3,87%, face ao verificado nas águas da primeira colheita, sendo este resultado explicado pela ocorrência de mais precipitação e consecutiva formação de mais escorrência superficial.

A variação da concentração dos nutrientes transportados pela água da escorrência superficial das áreas ardidas para a Ribeira de São Domingos, em função da precipitação ocorrida por cada momento pluvioso antecedente a cada colheita, não foi linear, pois verificou-se o maior valor médio de precipitação no segundo momento, mas destaca-se o primeiro com as concentrações médias de nutrientes mais elevadas, encontrando-se assim a resposta à questão n.º 5. Estes resultados evidenciam a menor disponibilidade dos nutrientes após a ocorrência da primeira precipitação capaz de gerar escorrência superficial.

As concentrações de P e N foram reduzidas nas águas analisadas, comprovando estes resultados a migração de pequenas quantidades destes nutrientes das áreas ardidas para a água da ribeira em análise, facto que se pode explicar pela diminuta disponibilidade dos mesmos nestas áreas.

Em suma, a concentração dos elementos químicos analisados nas águas da Ribeira de São Domingos não foi muito acentuada, facto que se explica pelo efeito de diluição e também pela área ardida ser proporcionalmente pequena em relação à área da bacia hidrográfica. Nestas condições, o efeito do fogo na alteração da constituição química da água não representa perigo para o ser humano caso estas sejam consumidas, i.e., a perigosidade é praticamente nula. Contudo, se a concentração dos nutrientes exportados aumentar muito pode trazer consequências para o Homem,

nomeadamente efeitos nocivos se a ingestão for excessiva, evidenciando-se assim a necessidade de haver monitorização da qualidade das águas provenientes de áreas ardidas.

Os cursos de água a jusante das áreas ardidas estão mais vulneráveis à contaminação, facto observado nesta dissertação. Assim, pode determinar-se os locais mais suscetíveis de haver maior contaminação através da monitorização pontual ao longo destes cursos, i.e., medição da concentração de contaminantes na água em função da proximidade às áreas afetadas pelo incêndio florestal.

Nesta investigação encontraram-se algumas dificuldades na obtenção de dados, nomeadamente sobre precipitação, devido à ausência de estações meteorológicas em funcionamento na área de estudo. Estes dados seriam importantes para a determinação de parâmetros hidrológicos, de forma a compreender melhor a migração dos elementos químicos das vertentes ardidas para os cursos de água.

Em trabalhos futuros sobre esta temática, seria interessante analisar os resultados obtidos da quantidade de nutrientes exportados com dados do escoamento superficial no período monitorizado, de modo a avaliar a real perda de nutrientes nas áreas ardidas em função da escorrência superficial gerada por cada período pluvioso. Também seria importante fazer a avaliação destas perdas, considerando a temperatura diária do período de monitorização, visto ser um fator com interferência (através da evaporação) na quantidade de água que vai alimentar o escoamento e na volatilização de determinados elementos químicos. Face aos resultados obtidos propõe-se, para futuras investigações, o adensamento do número de repetições de colheitas por cada ponto no mesmo momento, de forma a aferir-se com maior rigor as concentrações dos vários elementos químicos avaliados na água de cursos superficiais e, também, a respetiva variação dos mesmos. Seria também interessante fazer a determinação pontual das perdas de nutrientes nos solos da área ardida, através da instalação de microparcels de recolha das águas de escorrência superficial.

BIBLIOGRAFIA

- AFN (2012) – *Relatório anual de áreas ardidas e ocorrências 2011*. Autoridade Florestal Nacional, Direção de Unidade de Defesa da Floresta.
- ALEXANDER, S.J.; GRACE, M. & MCKELVIE, I. (2004) - *Effect of bushfires on receiving waters, eastern Victoria*. First Interim Report to the Department of Sustainability and Environment (May 2004), Water Studies Centre, School of Chemistry, Monash University, Australia. [Acedido em 10 de Agosto de 2012]. <http://zip.net/bjhps5>.
- ALMEIDA, O.A. (2010) – *Qualidade da Água de Irrigação*. Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Cruz das Palmas. [Acedido em 1 de Março de 2013]. http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/livro_qualidade_agua.pdf
- ALVES, A.A.; DEVY-VARETA, N.; OLIVEIRA, A.C. & PEREIRA, J.S. (2006) - A Floresta e o fogo através dos tempos. In PEREIRA, J.S.; PEREIRA, J.M.; REGO, F.C.; SILVA, J.M. & SILVA T.P., *Incêndios Florestais em Portugal*, Cap. 1, pp. 16-40.
- ANDREU, V.; IMESON, A.C. & RUBIO, J.L. (2001) - Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena*, 44, pp. 69-84.
- ANGELER, D. & MORENO, J. (2006) - Impact-recovery patterns of water quality in temporary wetlands after fire retardant pollution. *Forest Ecology and Management*, 234, pp. S160.
- BAKER, M.B. (1988) – Hydrologic and water quality effects of fire. *Conference Effects of Fire in Management of Southwestern Natural Resources*, (Tucson, AZ), pp. 31-42. [Acedido em 30 de Agosto de 2012]. http://www.fs.fed.us/rm/pubs_rm/rm_gtr191/rm_gtr191_031_042.pdf.
- BARITZ, R.; SEUFERT, G.; MONTANARELLA, L. & RANST, E.V. (2010) – Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe. *Forest Ecology and Management*, 260 (3), pp. 262-277.
- BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; ÚBEDA, X. & MARTIN, D. (2012) - Fire and soils: Key concepts and recent advances. *Geoderma*, 191, pp. 3-13.
- BESCHTA, R.L. (1990) - Effects of fire on water quantity and quality. In WALSTAD, J.D.; RADOSEVICH, S.R. & SANDBERG, D.V. (eds.), *Naturaland prescribed fire in Pacific Northwest forests*. Corvallis, Oregon State University Press, pp. 219–231.
- BIRCH, G.F.; HARRINGTON, C.; SYMONS, R.K. & HUNT, J.W. (2007) - The source and distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and polychlorinated dibenzofurans in sediments of Port Jackson, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 54 (3), pp. 295-308.
- BLOOM, A.L. (1999) - *Geomorphology. A systematic analysis of Late Cenozoic Landforms*. Prentice Hall, New Jersey.
- BOND, B.J.; MEINZER, F.C. & BROOKS, J.R. (2007) – How trees influence the hydrological cycle in forest ecosystems. In WOOD, P.J.; HANNAH, D.M. & SADLER, J.P., *Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future*, John Wiley & Sons, Ltd.
- BREMNER, J.M. & MULVANEY, C.S. (1982) - Nitrogen - total. In PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R. (Eds.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, Agronomy Monograph nº. 9 (2nd. Edition). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 595-624.
- BROCKERHOFF, E.G.; JACTEL, H.; PARROTTA, J.A.; QUINE, C.P. & SAYER, J. (2008) - Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 17, pp. 925–951.
- BROWN, T.C. (2000) - Economic Issues for Watersheds Supplying Drinking Water. In *Drinking water from forests and grasslands: A synthesis of the scientific literature*. General Technical Report SRS-39. Asheville. NC: USDA Forest Service, Southern Research Station. Edited by Dissmeyer, G.E., pp. 42-51.

- BURBANO-GIRÓN, J.; DOMÍNGUEZ, E. & ETTER, A. (2009) - Modelación del efecto de escenarios de cobertura sobre la migración de nutrientes (N , P_2O_5) en la cuenca alta del río Magdalena (Huila, Colombia). *Ing. Univ. Bogotá (Colombia)*, 13 (2), pp. 341-369.
- CARTER, M.C. & FOSTER, C.D. (2004) - Prescribed burning and productivity in southern pine forests: a review. *Forest Ecology and Management*, 191 (1–3), pp. 93-109.
- CARVALHO, A.; MONTEIRO, A.; FLANNIGAN, M.; SOLMAN, S.; MIRANDA, A.I. & BORREGO, C. (2011) - Forest fires in a changing climate and their impacts on air quality. *Atmospheric Environment*, 45 (31), pp. 5545-5553.
- CARVALHO, J.B. & LOPES, J.P. (2001) – *Classificação de Incêndios Florestais*. Manual do Utilizador. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, pp. 4-32.
- CATRY, F.X.; BUGALHO, M.; SILVA, J.S. & FERNANDES, P. (2010) – Gestão da vegetação pós-fogo. In MOREIRA, F.; CATRY, F.X.; SILVA, J.S. & REGO, F., *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*, pp. 289-327.
- CERTINI, G. (2005) – Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143, pp. 1-10.
- CERTINI, G.; NOCENTINI, C.; KNICKER, H.; ARFAIOLI, P. & RUMPEL, C. (2011) - Wildfire effects on soil organic matter quantity and quality in two fire-prone Mediterranean pine forests. *Geoderma*, 167-168, pp. 148-155.
- CLARK, M. & SMALL, J. (1982) - *Slopes and Weathering*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CORTEZ, N.R. (1996) - *Compartimentos e Ciclo de Nutrientes em Plantações de Eucalyptus globulus Labill. ssp. globulus e Pinus pinaster Aiton*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- CREED, I.F.; SASS, G.Z.; BUTTLE, J.M. & JONES, J.A. (2011) - Hydrological principles for sustainable management of forest ecosystems. *Hydrological Processes*, 25, pp. 2152–2160.
- CROITORU, L. (2007) - How much are Mediterranean forests worth? *Forest Policy and Economics*, 9 (5), pp. 536-545.
- CROUCH, R.L.; TIMMENG, H.J.; BARBER, T.R. & FUCHSMAN, P.C. (2006) - Post-fire surface water quality: comparison of fire retardant versus wildfire-related effects. *Chemosphere*, 62, pp.874-889.
- DAVEAU, S. & COLABORADORES (1985) - *Mapas Climáticos de Portugal. Nevoeiro e Nebulosidade. Contrastes Térmicos*. Centro de Estudos Geográficos, Memória N.º 7, Lisboa.
- DAVID, J. (2002) – As florestas e a gestão dos recursos hídricos. *Água & Ambiente*, Ciência. Nº 38, Ano 4.
- DEBANO, L.F. & KLOPATEK, J.F. (1988) – Phosphorus dynamics of pinnyon-juniper soils following simulated burning. *Soil Science of America Journal*, 52, pp: 271-277.
- DEBANO, L.F. (1990) - *The effect of fire on soil properties*. Symposium on Management and Productivity of Western-Montane Forest Soils. [Acedido em 02 de Fevereiro de 2013]. http://forest.moscowsl.wsu.edu/smp/solo/documents/GTRs/INT_280/DeBano_INT-280.php
- DEBANO, L.F. (2000a) - The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology*, 231–232, pp. 195-206.
- DEBANO, L.F. (2000b) - Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology*, 231–232, pp. 4-32.
- DEBANO, L.F.; NEARY, D.G.; FFOLLIOTT & P.F. (1998) -. *Fire's Effects on Ecosystems*. John Wiley & Sons, New York.
- DEVY-VARETA, N. (1986) - Para uma geografia histórica da floresta portuguesa. Do declínio das matas medievais à política florestal do Renascimento (séc. XV e XVI). *Revista da Faculdade de Letras – Geografia*, I Série, Vol. I, Porto, pp. 5-37.
- DEVY-VARETA, N. (2003) – O regime florestal em Portugal através do século XX (1903-2003). *Revista da Faculdade de Letras – Geografia*, I Série, Vol. XIX, Porto, pp. 447-455.

- DGT (2013a) - *LANDYN – Alterações de uso e ocupação do solo em Portugal Continental: caracterização, forças motrizes e cenários futuros*. Relatório Anual 2012-2013. Direção-Geral do Território, Lisboa.
- DGT (2013b) - *LANDYN – Alterações de uso e ocupação do solo em Portugal Continental: caracterização, forças motrizes e cenários futuros*. Relatório NUT 2. Direção-Geral do Território, Lisboa.
- DIGOUT, D. & UNEP/GRID-ARENDA (2005) - *Groundwater: aquifers, wells and circulation*. [Acedido em 23 de Agosto de 2012]. <http://www.ec.gc.ca/water/index.htm>.
- DOERR, S.H. & THOMAS, A.D. (2000) - The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *Journal of Hydrology*, 231-232, pp. 134-147.
- DOERR, S.H.; WOODS, S.W.; MARTIN, D.A. & CASIMIRO, M. (2009) - 'Natural background' soil water repellency in conifer forests of the north-western USA: Its prediction and relationship to wildfire occurrence. *Journal of Hydrology*, 371 (1-4), pp. 12-21.
- DRAEDM, (1999). *Código de boas práticas agrícolas para a protecção da água*. Direcção Regional de Agricultura de Entre-Douro e Minho, Braga.
- ELLIS, S.; KANOWSKI, P. & WHELAN, R. (2004) - *National inquiry on bushfire mitigation and management*. Commonwealth of Australia, Canberra, pp. 451.
- ERIKSSON, H.; EDBERG, F. & BORG, H. (2003) - Effects of forest fire and fire-fighting operations on water chemistry in Tyresta National Park, Stockholm, Sweden. *Journal de Physique Iv*, 107, pp. 427-430.
- ESSER, C.; STEINWACHS, S.; HERDER, C.; MAJORA, M. & LAI, Z.W. (2005) - Effects of a single dose of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin, given at post-puberty, in senescent mice. *Toxicology Letters*, 157 (2), pp. 89-98.
- ESTEVES, T.C.; KIRKBY, M.J.; SHAKESBY, R.A.; FERREIRA, A.J.; SOARES, J.A.; IRVINE, B.J.; FERREIRA, C.S.; COELHO, C.O.; BENTO, C.P. & CARREIRAS, M.A. (2012) - Mitigating land degradation caused by wildfire: application of the PESERA model to fire-affected sites in central Portugal. *Geoderma*, pp. n/a (*In Press*).
- EU (1998) - Directiva 98/83/CE do conselho de 3 de Novembro de 1998 relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, Bruxelas.
- EU (2000) - Council Directive of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, Directive number 2000/60/EC, Brussels.
- FARCY, C. & DEVILLEZ, F. (2005) - New orientations of forest management planning from an historical perspective of the relations between man and nature. *Forest Policy and Economics*, 7 (1), pp. 85-95.
- FEARNSIDE, P.M. (1995) - Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 78 (1-3), pp. 51-70.
- FERNANDES, P. & REGO, F. (2010) – Combustíveis e combustão em ambiente florestal. In MOREIRA, F.; CATRY, F.X.; SILVA, J.S. & REGO, F., *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*, pp. 13-20.
- FERNANDES, R.C. (2009) – *Recuperação de solos florestais ardidos com recurso a resíduos orgânicos e sua influência na matéria orgânica do solo*. Dissertação de Mestrado apresentada Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- FERREIRA, A. (2005) – A erosão do solo. *Geografia de Portugal 1*, O Ambiente Físico; Círculo de Leitores, Rio de Mouro, pp. 208-216.
- FERREIRA, A.D.; ALEGRE, A.P.; CARVALHO, T.; SILVA, J.S.; PINHEIRO, A.Q. & COELHO, C. (2010a) – Estratégias e técnicas de conservação do solo e da água após os incêndios. In MOREIRA, F.; CATRY, F.X.; SILVA, J.S. & REGO, F., *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*, pp. 229-252.
- FERREIRA, A.D.; COELHO, C.; SILVA, J.S. & ESTEVES, T. (2010b) – Efeitos do fogo no solo e no regime hidrológico. In MOREIRA, F.; CATRY, F.X.; SILVA, J.S. & REGO, F., *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*, pp. 21-48.

- FERREIRA, A.J.; COELHO, C.O.; RITSEMA, C.J.; BOULET, A.K. & KEIZER, J.J. (2008) - Soil and water degradation processes in burned areas: Lessons learned from a nested approach. *CATENA*, 74 (3), pp. 273-285.
- FILIPPI, J.B. ; PIALAT, X. & CLEMENTS, C.B (2012) - Assessment of ForeFire/Meso-NH for wildland fire/atmosphere coupled simulation of the FireFlux experiment. *Proceedings of the Combustion Institute*, pp. n/a (In Press).
- FOSTER, S.S.D. & CHILTON, P.J. (2003) - Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 358, pp. 1957-1972.
- FOWLER, C.T. (2003) - Human Health Impacts of Forest Fires in the Southern United States: A Literature Review. *Journal of Ecological Anthropology*, 7, pp. 39-63.
- FOX, D.M.; DARBOUX, F. & CARREGA, P. (2007) - Effects of fire-induced water repellency on soil aggregate stability, splash erosion, and saturated hydraulic conductivity for different size fractions. *Hydrological Processes*, 21, pp. 2377-2384.
- GOTTFRIED, G.J. & DEBANO, L.F. (1990) - Streamflow and water quality responses to preharvest prescribed burning in an undisturbed ponderosa pine watershed. In KRAMMES, J.S., tech. coord. *Effects of fire management of southwestern natural resources*; 1988; Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, pp. 222-228. http://www.fs.fed.us/rm/pubs_rm/rm_gtr191/rm_gtr191_222_228.pdf
- HAYGARTH, P.M. & EDWARDS, A.C. (2000) - Sample collection, handling, preparation and storage. In PIERZYNSKI, G.M. (Ed.), *Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters*, Southern Cooperative Series Bulletin, 396, pp. 84-90.
- HIPÓLITO, R.J. & VAZ, Á.C. (2011) – *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Instituto Superior Técnico, Lisboa, pp. 35-430.
- HOLANDA, J.S.; DE AMORIM, J.R.; NETO, M.F. & HOLANDA, A.C. (2010) - Qualidade da água para irrigação. In INCTSal, *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*, Fortaleza, pp. 43-61.
- HOPKINS, J.S. (2001) - *Special water quality survey of the Pecos and Gallinas Rivers below the viveash and manuelitas fires – 2000*. [Acedido em 3 de Setembro de 2012]. http://www.nmenv.state.nm.us/swqb/Viveash_Fire_Report_02-2001.html.
- HUFFMAN, E.L.; MACDONALD, L.H. & STEDNICK, J.D. (2001) – Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodgepole pine, Colorado Front Range. *Hydrological Processes*, 15, pp. 2877-2892.
- IARC (2010) - *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures*. International Agency for Research on Cancer, World Health Organization, Vol. 92. [Acedido em 5 de Setembro de 2012]. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/mono92.pdf>.
- ICE, G.G.; NEARY, D.G. & ADAMS, P.W. (2004) - Effects of wildfire on soils and watershed processes. *Journal of Forestry*, pp. 16-20. [Acedido em 30 de Agosto de 2012]. http://www.colorado.edu/geography/class_homepages/geog_3511_s12/readings/Fire_Water_sheds_JForestry.pdf.
- IM & AEMET (2011) - *Atlas Climático Ibérico. Temperatura do Ar e Precipitação (1971-2000)*. Instituto de Meteorologia de Portugal e Agencia Estatal de Meteorología do Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España.
- JARAMILLO, D.F (2006) - Repelencia al agua en suelos: una síntesis. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 30 (115), pp. 215-232.
- JOHANSEN, M.P.; HAKONSON, T.E. & BRESHEARS, D.D. (2001) - Post-fire runoff and erosion from rainfall simulation: contrasting forests with shrublands and grasslands. *Hydrological Processes*, 15, pp. 2953-2965.
- JOHNSON, D.W. & LINDBERG, S.E. (1991) - Atmospheric deposition and forest nutrient cycling: a synthesis of the integrated forest study. *Ecological Series*, 91. Springer-Verlag, New York.

- JOHNSON, D.W.; SUSFALK, R.B.; DAHLGREN, R.A. & KLOPATEK, J.M. (1998) - Fire is more important than water for nitrogen fluxes in semi-arid forests. *Environmental Science & Policy*, 1, pp. 79-86.
- JUNG, H.I.; HOGUE, T.S.; RADEMACHER, L.K. & MEIXNER, T. (2009) - Impact of wildfire on source water contributions in Devil Creek, CA: evidence from end-member mixing analysis. *Hydrological Processes*, 23, pp. 183-200.
- KIM, C.; SHIN, K.; JOO, K.Y.; LEE, K.S.; SHIN, S.S. & CHOUNG, Y. (2008) - Effects of soil conservation measures in a partially vegetated area after forest fires. *Science of the Total Environment*, 399 (1-3), pp. 158-164.
- KIM, E.J.; OH, J.E. & CHANG, Y.S. (2003) - Effects of forest fire on the level and distribution of PCDD/Fs and PAHs in soil. *Science of the Total Environment*, 311 (1-3), pp. 177-189.
- KNAPP, E.E.; ESTES, B.L. & SKINNER, C.N. (2009) - *Ecological Effects of Prescribed Fire Season: A Literature Review and Synthesis for Managers*. United States Department of Agriculture (USDA), pp. 80.
- KONDO, M.K. (2012) – *Análises físicas de solo: condutividade eléctrica do solo*. Janaúba, 2 p. [Acedido em 25 de Fevereiro de 2013]. http://marcoskondo.com.br/download/analisesdesolo/analise_condutividade_eletrica_solo_v.1.01.pdf.
- KONSTANTINOS, S.; JOHN, V. & NICHOLAS, D. (2010) - Modelling forest fires hydrological impact using spatio-temporal geographical data. *2010 International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake*, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada. [Acedido em 10 de Agosto de 2012]. <http://www.iemss.org/iemss2010/proceedings.html>.
- KRECHETNIKOV, R. & HOMSY, G.M. (2009) - Crown-forming instability phenomena in the drop splash problem. *Journal of Colloid and Interface Science*, 331 (2), pp. 555-559.
- KUCHMENT, L.S. (2004) - The hydrological cycle and human impact on it. In *Water Resources Management*, [Eds. Arjen Y. Hoekstra, and Hubert H.G. Savenije], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK. [Acedido em 23 de Agosto de 2012]. <http://www.biodiversity.ru/programs/ecoservices/library/functions/water/doc/Kuchment.pdf>.
- KULKARNI, P.S.; CRESPO, J.G. & AFONSO, C.A. (2008) - Dioxins sources and current remediation technologies - A review. *Environment International*, 34 (1), pp. 139-153.
- LANDSBURG, J.D. & TIEDEMANN, A.R. (2000) - Fire management. In *Drinking water from forests and grasslands: A synthesis of the scientific literature*. General Technical Report SRS-39. Asheville. NC: USDA Forest Service, Southern Research Station. Edited by Dissmeyer, G.E., pp. 124-138.
- LANE, P.N.; NOSKE, P.J. & SHERIDAN, G.J. (2011) - Phosphorus enrichment from point to catchment scale following fire in eucalypt forests. *CATENA*, 87 (1), pp. 157-162.
- LAUMANN, S.; MICIĆ, V.; KRUGE, M.A.; ACHTEN, C.; SACHSENHOFER, R.F.; SCHWARZBAUER, J. & HOFMANN T. (2011) - Variations in concentrations and compositions of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coals related to the coal rank and origin. *Environmental Pollution*, 159 (10), pp. 2690-2697.
- LEGOUT, C.; LEGUEDOIS, S.; BISSONNAIS, Y. & ISSA, O.M. (2005) - Splash distance and size distributions for various soils. *Geoderma*, 124 (3-4), pp. 279-292.
- LENCASTRE, A. & FRANCO, F. (1984) - Lições de hidrologia. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- LENCASTRE, A. & FRANCO, M. (2003) – *Lições de Hidrologia*. Edição revista, Fundação Armando Lencastre, Caparica.
- LI, C.; WANG, C.P.; LIU, S.T. & WENG, L.H. (2010) - Forest value orientations and importance of forest recreation services. *Journal of Environmental Management*, 91 (11), pp. 2342-2348.

- LLORET, F. & MARÍ, G. (2001) - A comparison of the medieval and the current fire regimes in managed pine forests of Catalonia (NE Spain). *Forest Ecology and Management*, 141, pp. 155-163.
- LOPES, C. (2001) – A Água da Chuva. In LOPES, C.; NETO, O. & KRÜGER, V., *Águas*. Instituto de Química, UFRGS, pp. 37-43. [Acedido em 10 de Março de 2013]. <http://www.iq.ufrgs.br/aeq/html/publicacoes/matdid/livros/pdf/aguas.pdf>.
- LOURENÇO, L. (2004) – *Risco dendrocaustológico em mapas*. Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais (FLUC), Coimbra, pp. 201.
- LOURENÇO, L.; PEREIRA, A. & GONÇALVES, R. (2003) – Risco dendrocaustológico no Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros. *Revista da Faculdade de Letras – Geografia*, I Série, Vol. XIX, Porto, pp. 295-307.
- LUCAS, M.D. & SEQUEIRA, E.M. (1976) - Determinação do Cu, Mn, Fe, Ca, Mg, K e Na por espectrofotometria de absorção atômica e fotometria de chama. *Pedologia*, 11, pp. 163-169.
- MADEIRA, A.C.; CARNEIRO, M.; MARQUES, P. & MADEIRA, M. (2009) - Avaliação do estado de nutrição de plantas jovens de *Eucalyptus globulus* por análise foliar e espectralradiométrica. *Revista de Ciências Agrárias*, vol.32, n.1, pp. 13-26. [Acedido em 1 de Fevereiro de 2013]. <http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/pdf/rca/v32n1/v32n1a02.pdf>.
- MARTINS, V.; MIRANDA, A.I.; CARVALHO, A.; SCHAAP, M.; BORREGO, C. & SÁ, E. (2012) - Impact of forest fires on particulate matter and ozone levels during the 2003, 2004 and 2005 fire seasons in Portugal. *Science of The Total Environment*, 414, pp. 53-62.
- MASSAMBANI, O. (2005) – Meteorologia. In MARQUES, G. (2005) - *Física Tendências e Perspectivas*, Editora da Física, São Paulo, pp. 257-268.
- MCINTOSH, P.D.; LAFFAN, M.D. & HEWITT, A.E. (2005) - The role of fire and nutrient loss in the genesis of the forest soils of Tasmania and southern New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 220, pp. 185-215.
- MENDONÇA, L.A.; SANTIAGO, M.O.; FRISCHKORN, H. & SASAKI, J.M. (2008) - Problemas de cálcio na água de abastecimento de Nova Olinda – CE. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 13 (3), pp. 298-305.
- MENESES, B.M. & SARMENTO, H. (2012) - *Avaliação da distribuição espacial de incêndios florestais no Concelho de Tarouca*. III Encontro de Sistemas de Informação Geográfica - Aplicação SIG em Recursos Agro-Florestais e Ambiente, IPCB, Castelo Branco, pp. 39-40.
- MENESES, B.M. (2011a) - *Erosão Hídrica do Solo. Caso de Estudo do Concelho de Tarouca*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. <http://hdl.handle.net/10362/7087>.
- MENESES, B.M. (2011b) - *Susceptibilidade e Risco de Movimentos de vertente no Concelho de Tarouca*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10451/6029>.
- MENESES, B.M. (2012) - Influência das práticas agrícolas e da cobertura vegetal na variação da erosão hídrica do solo - Comparação entre a erosão hídrica observada e a erosão hídrica real estimada pela EUPS. III Encontro de Sistemas de Informação Geográfica - Aplicação SIG em Recursos Agro-Florestais e Ambiente, IPCB, Castelo Branco, pp. 80-81.
- MENESES, B.M. (2013) - Os incêndios florestais e a qualidade da água. *E-Book do VIII Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água*, Lisboa.
- MENESES, B.M. (2013a) - Influência da escorrência superficial na perda de nutrientes em vertentes queimadas. Caso de estudo do planalto de Cezaredas, Portugal. *E-Book do IX Congresso da Geografia Portuguesa. Geografia: Espaço, Natureza, Sociedade e Ciência*. Évora 2013, pp. 864-870.
- MENESES, B.M. (2013b) - Os incêndios florestais e a perda de solo por erosão hídrica na Serra de Santa Helena, Portugal. *E-Book do IX Congresso da Geografia Portuguesa. Geografia: Espaço, Natureza, Sociedade e Ciência*. Évora 2013, pp. 669-674.

- MENESES, B.M.; SARAIVA, R.; VALE, M.J. E REIS, R. (2013) - Avaliação da evolução dos corpos de água em Portugal Continental durante as últimas três décadas. *E-Book do VIII Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água*, Lisboa.
- MOODY, J.A. & MARTIN, D.A. (2001) - Post-fire, rainfall intensity–peak discharge relations for three mountainous watersheds in the western USA. *Hydrological Processes*, 15, pp. 2981-2993.
- MUMTAZ, M. & GEORGE, J. (1995) - *Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia. [Acedido em 5 de Setembro de 2012]. <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp69.pdf>.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. (1962) - A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, pp. 31-36.
- NEARY, D.G.; ICE, G.G. & JACKSON, C.R. (2009) - Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258, pp. 2269-2281.
- NEARY, D.G.; KLOPATEK, C.C.; DEBANO, L.F. & FFOLLIOTT, P.F. (1999) - Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, pp. 51-71.
- NEARY, D.G.; RYAN, K.C. & DEBANO, L.F. (2005) - *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4 (revised 2008) Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, p. 250.
- NERIS, J.; TEJEDOR, M.; FUENTES, J. & JIMÉNEZ, C. (2012) - Infiltration, runoff and soil loss in Andisols affected by forest fire (Canary Islands, Spain). *Hydrological Processes*, pp. n/a (In Press).
- NEUMANN, M.; SCHULZ, R.; SCHÄFER, K.; MÜLLER, W.; MANNHELLER, W. & LIESS, M. (2002) - The significance of entry routes as point and non-point sources of pesticides in small streams. *Water Research*, 36, pp. 835-842.
- NISBET, C. & LAGOY, P. (1992) - Establishing generic remediation goals for the polycyclic aromatic hydrocarbons: critical issues. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 16, 290-300.
- NOSKE, P.J.; LANE, P.N. & SHERIDAN, G.J. (2010) - Stream exports of coarse matter and phosphorus following wildfire in NE Victoria, Australia. *Hydrological Processes*, 24, pp. 1514-1529.
- NYMAN, D. & ENSR INTERNATIONAL (2002) - *Hydrology Handbook for Conservation Commissions. A guide to understanding hydrologic and hydraulic data and calculations under the Massachusetts Wetlands Protection Act*. Massachusetts Department of Environmental Protection, Boston.
- OLIVEIRA, L. & PINTO, J. (2004) - *Drenagem e proteção das águas superficiais*. Curso de gestão ambiental de resíduos sólidos, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- OLIVELLA, M.A.; RIBALTA, T.G.; FEBRER, A.R.; MOLLET, J.M. & HERAS, F.X. (2006) - Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine waters after Mediterranean forest fires. *Science of the Total Environment*, 355, pp. 156-166.
- PARRON, L.M.; MUNIZ, D.H. & PEREIRA, C.M. (2011) – *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*. Colombo, Embrapa Florestas. [Acedido em 27 de Fevereiro de 2013]. <http://zip.net/bmjv4T>.
- PEREIRA, L.S.; CORDERY, I. & IACOVIDES, I. (2002) - *Coping with Water Scarcity*. International Hydrological Programme, Technical Documents in Hydrology, 58, UNESCO, Paris.
- PEREIRA, M.G.; TRIGO, R.M.; CAMARA, C.C.; PEREIRA, J.M., LEITE, S.M. (2005) - Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129, pp. 11-25.
- PEREIRA, P.; ÚBEDA, X. & MARTIN, D. (2012) - Fire severity effects on ash chemical composition and water-extractable elements. *Geoderma*, 191, pp. 105-114.

- PEREIRA, P.; ÚBEDA, X.; MARTIN, D.; MATAIX-SOLERA, J. & GUERRERO, C. (2011) - Effects of a low severity prescribed fire on water-soluble elements in ash from a cork oak (*Quercus suber*) forest located in the northeast of the Iberian Peninsula. *Environmental Research*, 111, pp. 237-247.
- PHAM, T.T.; PROULX, S.; BROCHU, C. & MOORE, S. (1999) - Composition of PCBs and PAHs in the Montreal urban community wastewater and in the surface water of the St. Lawrence River (Canada). *Water, Air and Soil Pollution*, 111 (1-4), pp. 251-270.
- PINTO, R.M. (2009) – *Recuperação de um solo florestal queimado por aplicação de resíduos orgânicos. Respiração induzida por substrato dos microrganismos do solo*. Dissertação de Mestrado apresentada Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- PIO, C.A.; SILVA, T.P. & PEREIRA, J.M. (2006) – Emissões e impactes na atmosfera. In PEREIRA, J.S.; PEREIRA, J.M.; REGO, F.C.; SILVA, J.M. & SILVA T.P., *Incêndios Florestais em Portugal*, Cap. 1, pp. 165-198.
- POÇAS, I.; CUNHA, M. & PEREIRA, L.S. (2011) - Remote sensing based indicators of changes in a mountain rural landscape of Northeast Portugal. *Applied Geography*, 31, pp. 871- 880.
- POTE, D.H. & DANIEL, T.C. (2000) - Analyzing for dissolved reactive phosphorus in water samples. In PIERZYNSKI, G.M. (Ed.), *Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters*, Southern Cooperative Series Bulletin, 396, pp. 91-93.
- POTE, D.H. & DANIEL, T.C. (2000a) - Analyzing for total phosphorus and total dissolved phosphorus in water samples. In PIERZYNSKI, G.M. (Ed.), *Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters*, Southern Cooperative Series Bulletin, 396, pp. 94-97.
- PÓVOAS, I. & BARRAL, M.F. (1992) – *Métodos de análise de solos*. Série de ciências agrárias, Instituto de Investigação Científica Tropical, MPAT, Lisboa.
- PRAHARAJ, T.; SWAIN, S.P.; POWELL, M.A.; HART, B.R. & TRIPATHY, S. (2002) - Delineation of groundwater contamination around an ash pond Geochemical and GIS approach. *Environment International*, 27, pp. 631–638.
- PROVIDOLI, I.; ELSENBEEER, H. & CONEDERA, M. (2002) - Post-fire management and splash erosion in a chestnut coppice in southern Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 162 (2–3), pp. 219-229.
- PYNE, S.J. (2006) - Fogo no jardim: compreensão do contexto dos incêndios em Portugal. In PEREIRA, J. S.; PEREIRA, J. M.; REGO, F. C.; SILVA, J. M. & SILVA, T. P., *Incêndios Florestais em Portugal*, pp.115-131.
- QUINTELA, A.C. (1984a) - Hidrologia de águas superficiais. *Curso Internacional de Hidrologia Operativa*, Vol. I. M.E.S., S.E.O.P., Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamento Hidráulicos, Lisboa, pp. 371-460.
- QUINTELA, A.C. (1984b) - Hidrologia de águas superficiais. *Curso Internacional de Hidrologia Operativa*, Vol. II. M.E.S., S.E.O.P., Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamento Hidráulicos, Lisboa, pp. 505-716.
- RAMOS, C. (2005) - *Programa de Hidrogeografia. Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial*. DILIF – 3. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa. Lisboa.
- RANDLE, T.; YANG, C. & DARAIO, J. (2006) - Erosion and reservoir sedimentation. *Erosion and sedimentation manual*, Cap. 2, Bureau of Reclamation, Sedimentation and River Hydraulics Group Denver, Colorado, pp. 1-19.
- ROBICHAUD, P.R (2000) - Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in Northern Rocky Mountain forests, USA. *Journal of Hydrology*, 231–232, pp. 220-229.
- ROCHA, M. (2009) – A Água e o Direito. In MALCATA, F.X., *Água um Desafio sem Espaço nem Tempo*. Universidade católica Editora Unipessoal, Lisboa, pp. 47-56.
- ROXO, M.J. (1994) – *A acção antrópica na degradação de solos. A Serra de Serpa e de Mértola*. Tese de Doutoramento apresentada à Universidade Nova de Lisboa.

- ROZEMEIJER, J.C.; VELDE Y.; GEER, F.C.; BIERKENS, M.F. & BROERS, H.P. (2010) - Direct measurements of the tile drain and groundwater flow route contributions to surface water contamination: From field-scale concentration patterns in groundwater to catchment-scale surface water quality. *Environmental Pollution*, 158, pp. 3571-3579.
- SARAIVA, R.; MENESES, B.M.; VALE, M.J. E REIS, R. (2013) - A informação geográfica no apoio à gestão e planeamento da água. *VIII Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água*, Lisboa.
- SCATENA, F.N. (2000) - Drinking Water Quality. In *Drinking water from forests and grasslands: A synthesis of the scientific literature*. General Technical Report SRS-39. Asheville. NC: USDA Forest Service, Southern Research Station. Edited by Dissmeyer, G.E., pp. 7-25.
- SCBD (2001) - *The Value of Forest Ecosystems*. Montreal, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, (CBD Technical Series no. 4), pp. 67.
- SCHOENE, D.H. & BERNIER, P.Y. (2011) - Adapting forestry and forests to climate change: A challenge to change the paradigm. *Forest Policy and Economics*, pp. n/a (*In Press*).
- SCOTT, D.F. (1997) - The contrasting effects of wildfire and clearfelling on the hydrology of a small catchment. *Hydrological Processes*, 11, pp. 543-555.
- SHAKESBY, R.A. & DOERR, S.H. (2006) - Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74 (3-4), pp. 269-307.
- SHAKESBY, R.A. (2011) - Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews*, 105 (3-4), pp. 71-100.
- SHAKESBY, R.A.; BOAKES, D.J.; COELHO, C.O.; GONÇALVES, A.J. & WALSH, R.P. (1996) - Limiting the soil degradational impacts of wildfire in pine and eucalyptus forests in Portugal: A comparison of alternative post-fire management practices. *Applied Geography*, 16 (4), pp. 337-355.
- SHERIDAN, G.; LANE, P.; GRAYSON, R.; NOSKE, P. & FEIKEMA, P. (2004) - Preliminary analysis of pre and post bushfire water quality data from hydrologic stations in Eastern Victoria (INTERIM REPORT). *Forest Science Centre*, Research Report for the Bushfire Recovery Program, pp. 32.
- SHIN, H.W.; SIDHARTHAN, M. & YOUNG, K.S. (2002) - Forest fire ash impact on micro- and macroalgae in the receiving waters of the east coast of South Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 45, pp. 203-209.
- SIFAKIS, N.; PARONIS, D. & KERAMITSOGLOU, I. (2004) - Combining AVHRR imagery with CORINE Land Cover data to observe forest fires and to assess their consequences. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5, pp. 263-274.
- SINGH, R.K.; DATTA, M. & NEMA, A.K. (2009) - A new system for groundwater contamination hazard rating of landfills. *Journal of Environmental Management*, 91 (2), pp. 344-357.
- SMITH, H.G.; CAWSON, J. SHERIDAN, G.J.; LANE, P.N. (2011a) - Desktop review – Impact of bushfires on water quality. Forests and Water Group, Department of Forest and Ecosystem Science, Melbourne School of Land and Environment, University of Melbourne, pp. 1-40. [Acedido em 10 de Agosto de 2012]. <http://zip.net/bbhpPN>.
- SMITH, H.G.; HOPMANS, P.; SHERIDAN, G.J.; LANE, P.N.; NOSKE, P.J. & BREN, L.J. (2012) - Impacts of wildfire and salvage harvesting on water quality and nutrient exports from radiata pine and eucalypt forest catchments in south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 263, pp. 160-169.
- SMITH, H.G.; SHERIDAN, G.J.; LANE, P.N. & BREN, L.J. (2011b) - Wildfire and salvage harvesting effects on runoff generation and sediment exports from radiata pine and eucalypt forest catchments, south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 261, pp. 570-581.
- SMITH, H.G.; SHERIDAN, G.J.; LANE, P.N.; NYMAN, P. & HAYDON, S. (2011c) - Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *Journal of Hydrology*, 396, pp. 170-192.
- SOTO, B. & DIAZ-FIERROS, F. (1993) - Interactions between plant ash leachates and soil. *International Journal of Wildland Fire*, 34, pp. 207-216.

- SOUZA, P.A.; MELLO, W.Z. & MALDONADO, J. (2006) - Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. *Quim. Nova*, 29 (3), pp. 471-476.
- SREBOTNJAK, T., CARR, G., SHERBININ, A. & RICKWOOD, C. (2012) - A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. *Ecological Indicators*, 17, pp. 108-119.
- STOOF, C.R.; WESSELING, J.G. & RITSEMA, C.J. (2010) - Effects of fire and ash on soil water retention. *Geoderma*, 159, pp. 276-285.
- STOOF, C.R.; WESSELING, J.G. & RITSEMA, C.J. (2010) - Effects of fire and ash on soil water retention. *Geoderma*, 159, pp. 276-285.
- STRAHLER, A. N. (1952) - Hipsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63 (10), pp. 1117-1142.
- STRAHLER, A. N. (1957) - Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38, pp. 912-920.
- TELANG, S.A. (1990) - Effects of reservoir-dam, urban, industrial, and sewage treatment run-off on the presence of oxygen and organic compounds in the Bow River. *Water, Air and Soil Pollution*, 50 (1-2), pp. 77-90.
- THOMAS, A.D.; WALSH, R.P. & SHAKESBY, R.A. (1999) - Nutrient losses in eroded sediment after fire in eucalyptus and pine forests in the wet Mediterranean environment of northern Portugal. *CATENA*, 36 (4), pp. 283-302.
- TIEDEMANN, A.R.; CONRAD, C.E.; DIETERICH, J.H.; HORNBECK, J.W.; MEGAHAN, W.F.; VIERECK, L.A. & WADE, D.D. (1979) - Effects of fire on water: a state-of-knowledge review. *National Fire Effects Workshop. General Technical Report WO-GTR-10*. April 1978, USDA Forest Service, p. 28.
- TIEDEMANN, A.R.; KLEMMEDSON, J.O. & BULL, E.L. (2000) - Solution of forest health problems with prescribed fire: are forest productivity and wildlife at risk? *Forest Ecology and Management*, 127, pp. 1-18.
- TRENBERTH, K.E., SMITH, L., QUIAN, T.T., DAI, A. & G.FASULLO, J. (2007) - Estimates of the Global Water Budget and Its Annual Cycle Using Observational and Model Data. *Journal of Hydrometeorology*, 8, pp. 758-769.
- ÚBEDA, X. & OUTEIRO, L., (2009) -. Physical and chemical effects of fire on soil. In CERDÁ, A. & ROBICHAUD, P. (Eds.), *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp. 105–132.
- USGS (2008) - *Natural processes of ground-water and surface-water interaction - The hydrologic cycle and interactions of ground water and surface water*. United States Geological Survey, pp. 2-32. [Acedido em 3 de Julho de 2012]. <http://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/pdf/part1a.pdf>.
- VADILONGA, T.; ÚBEDA, X.; GERMANN, P.F. & LORCA, M. (2008) - Effects of prescribed burnings on soil hydrological parameters. *Hydrological Processes*, 22, pp. 4249-4256.
- VASCONCELOS, M.W. & MALCATA, F.X. (2009) – A Água e a Nutrição. Veículo de interação com o Homem. In MALCATA, F.X., *Água um Desafio sem Espaço nem Tempo*. Universidade católica Editora Unipessoal, Lisboa, pp. 371-382.
- VERGNOUX, A.; DI ROCCO, R.; DOMEIZEL, M.; GUILIANO, M.; DOUMENQ, P. & THÉRAULAZ, F. (2011) - Effects of forest fires on water extractable organic matter and humic substances from Mediterranean soils: UV–vis and fluorescence spectroscopy approaches. *Geoderma*, 160, pp. 434-443.
- VERGNOUX, A.; MALLERET, L. ; ASIA, L. ; DOUMENQ, P. & THERAULAZ, F. (2011) - Impact of forest fires on PAH level and distribution in soils. *Environmental Research*, 111 (2), pp. 193-198.
- VILA-ESCALE, M.; VEGAS-VILARRUBIA, T. & PRAT, N. (2007) - Release of polycyclic aromatic compounds into a Mediterranean creek (Catalonia, NE Spain) after a forest fire. *Water Res.*, 41, pp. 2171-2179.

- WANG, J.; HE, J. & CHEN, H. (2012) - Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China. *Science of the Total Environment*, 432, pp. 216-226.
- WANTHONGCHAI, K.; BAUHUS, J. & GOLDAMMER, J.G. (2008) - Nutrient losses through prescribed burning of aboveground litter and understorey in dry dipterocarp forests of different fire history. *CATENA*, 74, pp. 321-332.
- WB & WWF (2003) - *Running pure: the importance of forest protected areas to drinking water*. World Bank / WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use, UK.
- YAMASOE, M.A.; ARTAXO, P.; MIGUEL, A.H. & ALLEN, A.G. (2000) - Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. *Atmospheric Environment*, 34 (10), pp. 1641-1653.
- YOUNG, S.; BALLUZ, L. & MALILAY, J. (2004) - Natural and technologic hazardous material releases during and after natural disasters: a review. *Science of the Total Environment*, 322 (1-3), pp. 3-20.

OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

<http://chemistry.library.wisc.edu/subject-guides/hazardous-chemicals.html#chemicals> - acedido a 27 de Agosto de 2012.

<http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/> - acedido a 04 de Janeiro de 2013.

<http://www.atsdr.cdc.gov/substances/ToxChemicalClasses.asp> - acedido a 27 de Agosto de 2012.

<http://www.forestencyclopedia.net/p/p4/p138/p621> - acedido a 29 de Agosto de 2012.

<http://www.icnf.pt/portal> - acedido em 15 de Setembro de 2013.

<http://www.pordata.pt/Subtema/Portugal/Poluicao+Atmosferica+e+Clima-86> - acedido em 15 de Novembro de 2013.

<http://www.pordata.pt/> - acedido a 01 de Setembro de 2013.

<http://www.prociv.pt/cnos/Pages/HistoricodeOcorrencias.aspx> - acedido diariamente durante o verão de 2012.

.

DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

- CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL (1992). Escala de 1:500.000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- CARTA DOS SOLOS. Escala 1:1.000.000. Atlas do ambiente (reprodução da Carta dos Solos apresentada à FAO. SROA – 1971). Agência Portuguesa do Ambiente. <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>
- CARTA MILITAR DE PORTUGAL (2004). Escala 1:25.000. Folha 337 (Peniche), Edição n.º4. Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- CARTA MILITAR DE PORTUGAL (2004). Escala 1:25.000. Folha 338 (Óbidos), Edição n.º4. Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- CARTA MILITAR DE PORTUGAL (2004). Escala 1:25.000. Folha 349 (Lourinhã), Edição n.º4. Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- CARTA MILITAR DE PORTUGAL (2004). Escala 1:25.000. Folha 350 (Bombarral), Edição n.º3. Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL (1962). Escala de 1:50.000. Folha 30-D (Alenquer). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL (1962). Escala de 1:50.000. Folha 26-D (Caldas da Rainha). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL (1962). Escala de 1:50.000. Folha 26-C (Peniche). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

ANEXOS

Anexo 1. Efeitos do fogo sobre a qualidade (física e química) da água, segundo alguns estudos realizados no SE dos EUA.

Location	Prescription	Stream Chemistry	Sediment	Reference
Clemson Forest, South Carolina (Piedmont)	Spring and summer prescribed burns. Flame lengths ranged from 0.5-1.0 m.	NA	No significant amounts of soil movement between season, single burns, or no burns.	Goebel, N.B. <i>et al.</i> 1967
Northern Mississippi (Upper Coastal Plain)	Slow backfires followed by herbicide injection of remaining hardwoods.	NA	One-fourth of storm flow events increased by significant amounts. Overland flow increases were also observed which increased sediment loadings by approximately 400 lb/ac.	Ursic, S.J. 1970
South Carolina (Piedmont)	Moderately intense prescribed burn.	NA	Significant soil movement was not detected.	Cushwa, C.T. <i>et al.</i> 1971
USAEC\se2\80\99s Savannah River Plant, South Carolina (Piedmont)	Prescribed burn.	Cations in the runoff increased after the burn, NO ₃ and PO ₄ were high following the first rainfall after the fire, but not in subsequent rainfalls.	NA	Lewis, W.M., Jr., 1974
Blue Ridge Mountain Physiographic Province in South Carolina (Blue Ridge)	Intense wildfire.	Largest nutrient increase was calcium NO ₃ -N reached a maximum of 0.394 mg/L and the highest levels occurred in watersheds that received a fertilizer application and fire retardants. Increased levels of NO ₃ -N, NH ₄ -N, K, Na, Ca, and Mg occurred during the first year and levels were comparable to other natural and disturbed streams in the Southern Appalachians.	TSS showed no relationship with watershed condition. Maximum concentration was 81.8 mg/L	Neary and Currier 1982
South Carolina (Atlantic and Gulf Coastal Plain)	Prescribed fire	No changes in the chemical constituents of the stream that were solely attributable to the fire treatments.	NA	Richter, D.D. <i>et al.</i> 1982
Clemson Experimental Forest, South Carolina (Piedmont)	Prescribed burn. flame heights averaged 0.3 m on two watersheds and ~1m on the other two watersheds	No significant changes in NO ₃ -N, NH ₄ -N, Ca, Mg, or K following burns.	The burns did not significantly affect storm runoff, sediment concentrations, or sediment export.	Douglass, J.E. and Van Lear, D.H. 1983
Clemson Experimental Forest, South Carolina (Piedmont)	Low-intensity prescribed burns	Nutrient export increased slightly but was due to harvesting\se2\80\99s influence on runoff volumes.	Elevated sediment concentrations elevated slightly but was attributed to harvesting impacts.	Van Lear, D.H. <i>et al.</i> 1985
Southern Appalachian Mountains, South Carolina (Southwestern Appalachians)	High intensity broadcast burn. Average flame length was 1.0-1.5m, with 6-10m flames occurring near slash piles.	NA	No significant movement resulting from the burn. Soil infiltration rates unaffected.	Van Lear and Danieovich 1988
Whitehall Forest, University of Georgia (Piedmont)	Site preparation burn No flame temperature or height records available.	NA	Sediment production was low from 1x5m plots with slopes up to 30% and rainfall simulation intensities as high as 100 mm/hr.	Shahlaee, A.K. <i>et al.</i> 1991
Nantahala National Forest of North Carolina (Southwestern Appalachians)	Fires characterized as high intensity and light severity.	Stream water NO ₃ ⁻ concentrations increased in the one stream sampled following the burn. Losses of N were below levels of concern for water quality or future site productivity	NA	Knoepp and Swank 1993
Nantahala Mountains, western North Carolina (Southwestern Appalachians)	Site preparation burn. Maximum flame temperatures ranged from 33-78°C	NA	Residual forest floor was resistant to erosion.	Swift <i>et al.</i> 1993
Nantahala Mountains, western North Carolina (Southwestern Appalachians)	< 52°C in low slope positions. 160 to <152 °C at mid-slope. 804 to as low as 52°C in upper slope positions.	No significant NO ₃ -N or NH ₄ -N response in stream water.	NA	Vose <i>et al.</i> 1999
Angelina County in east Texas (South Central Plains)	The fire burned with low intensity and light severity, with maximum temperatures ranging between 200-300°C.	Increase loss of inorganic N, PO ₄ ⁻ , K ⁺ , Mg ⁺² , and Ca ⁺² was greater in runoff leaving burned plots but was too variable to be significantly higher statistically.	Sediment loss was significantly greater from burned plots than control plots. Maximum sediment loss followed first large storm event, then gradually decreased over the next 3 months.	Field, J.P. <i>et al.</i> 2000

Fonte: Forest Encyclopedia Network (http://www.forestencyclopedia.net/p/p4/p138/t/t304/quick_table_view).

Anexo 2. Parâmetros químicos e valores paramétricos para a água destinada ao consumo humano, segundo o Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto.

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade	Observações
Acrilamida	0,10	µg/l	V. n. 1
Antimónio	5,0	µg/l <i>Sb</i>	
Arsénio	10	µg/l <i>As</i>	
Benzeno	1,0	µg/l	
Benzo(a)pireno	0,010	µg/l	
Boro	1,0	mg/l <i>B</i>	
Bromatos	25 (de 25 de Dezembro de Dezembro de 2008). 10 (após 25 de Dezembro de 2008).	µg/l <i>BrO₃</i>	V. n. 2
Cádmio	5,0	µg/l <i>Cd</i>	
Crómio	50	µg/l <i>Cr</i>	V. n. 3.
Cobre	2,0	mg/l <i>Cu</i>	V. n. 3.
Cianetos	50	µg/l <i>Cn</i>	
1,2 dicloroetano	3,0	µg/l	
Epícloridrina	0,10	µg/l	V. n. 1.
Fluoretos	1,5	mg/l <i>F</i>	
Chumbo	25 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2013). 10 (após 25 de Dezembro de 2013).	µg/l <i>Pb</i>	
Mercúrio	1	µg/l <i>Hg</i>	
Níquel	20	µg/l <i>Ni</i>	V. n. 3.
Nitratos	50	mg/l <i>NO₃</i>	V. n. 5.
Nitritos	0,5	mg/l <i>NO₂</i>	V. n. 5.
Pesticida individual	0,10	µg/l	V. n. 6 e 7.
Pesticidas — total	0,50	µg/l	V. n. 6 e 8.
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP)	0,10	µg/l	Soma das concentrações dos compostos especificados. V. n. 9.
Selénio	10	µg/l <i>Se</i>	
Tetracloroeteno e tricloroeteno	10	µg/l	Soma das concentrações dos compostos especificados.
Trihalometanos — total (THM).	150 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2008). 100 (após 25 de Dezembro de 2008).	µg/l	Soma das concentrações dos compostos especificados. V. n. 10.
Cloreto de vinilo	0,50	µg/l	V.n.1.

Anexo 3. Parâmetros indicadores e valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano, segundo o Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto.

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade	Observações
Alumínio	200	µg/l <i>Al</i>	
Amónio	0,50	mg/l <i>NH₄</i>	
Cálcio	--	mg/l <i>Ca</i>	V. n. 1, 2 e 5.
Cloretos	250	mg/l <i>Cl</i>	V. n. 1.
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos)	0	N/100 ml	V. n. 6.
Cor	20	mg/l <i>PtCo</i>	
Condutividade	2 500	µS/cm a 20°C	V. n. 1.
Dureza total	--	mg/l <i>CaCO₃</i>	V. n. 1, 4 e 5.
pH	≥ 6,5 e ≤ 9	unidades de <i>pH</i>	V. n. 1 e 7.
Ferro	200	µg/l <i>Fe</i>	
Magnésio	--	mg/l <i>Mg</i>	V. n. 1, 3 e 5.
Manganês	50	µg/l <i>Mn</i>	
Microcistinas — LR total	1	µg/l	V. n. 16.
Cheiro, a 25°C	3	Fator de diluição	
Oxidabilidade	5	mg/l <i>O₂</i>	V. n. 8.
Sulfatos	250	mg/l <i>SO₄</i>	V. n. 1.
Sódio	200	mg/l <i>Na</i>	
Sabor, a 25°C	3	Fator de diluição	
Número de colónias	Sem alteração anormal	N/ml a 22°C	V. n. 17 e 18.
Número de colónias	Sem alteração anormal	N/ml a 37°C	V. n. 17 e 18.
Bactérias coliformes	0	N/100 ml	V. n. 9.
Carbono orgânico total (COT)	Sem alteração anormal	mg/l <i>C</i>	V. n. 10 e 18.
Turvação	4	UNT	V. n. 11.
α-total	0,5	Bq/l	V. n. 12 e 14
β-total	1	Bq/l	V. n. 12 e 15
Trítio	100	Bq/l	V. n. 12 e 16
Dose indicativa total	0,10	mSv/ano	V. n. 13,14 e 15
Desinfetante residual	--	mg/l	V. n. 19

Anexo 4. Precipitação anual registrada entre 1980 e 2010 nas estações meteorológicas em torno da área de estudo (Cezaredas).

DATA	ALCOENTRE	ALVAÍZERE	ALVORINHA	ASSEICEIRA	BARRAGEM	CAMPLOS	CELA	CHAMUSCA	COLARES (SARRAZOLA)	MAXIAL	ORJARICA	OTA	PRAÇAÇA	REGO DA MURTA	SALIR DE MATOS	SÃO JOÃO DA RIBEIRA	SÃO JULIAO DO TOJAL	SOBAL DA ABELHEIRA	TURQUEL	VERMELHA	VIMEIRO (ALCABAÇA)	VIMEIRO (LOURINHA)
1/10/1980	359.2	700.4	568.0	457.8	542.5	493.8	511.2	366.4	515.6	497.0	538.4	439.2	498.8	676.7	515.0	352.1	398.3	390.8	693.1	417.8	582.2	449.2
1/10/1981	688.5	928.6	704.5	650.1	749.0	650.4	574.1	590.8	609.0	688.9	867.0	561.4	756.0	849.5	736.1	598.3	701.2	563.1	961.0	717.6	858.1	603.5
1/10/1982	482.4	798.8	586.2	533.3	623.6	450.2	574.1	371.2	456.9	480.0	565.5	475.9	535.8	724.6	622.3	433.8	386.6	597.6	842.9	564.0	687.7	470.7
1/10/1983	962.1	1326.0	864.2	915.2	1033.7	773.3	707.5	792.4	883.8	852.3	1017.0	919.1	907.3	1133.7	846.1	912.3	834.3	995.8	1108.6	870.8	919.6	671.9
1/10/1984	921.7	1406.2	917.8	902.0	1019.5	964.8	890.2	748.4	904.9	919.8	1034.3	889.9	1039.8	1236.4	970.9	847.4	891.2	1069.3	1209.7	929.7	993.0	860.6
1/10/1985	764.0	1226.8	870.6	766.0	873.5	726.6	786.8	674.2	604.1	636.4	774.7	615.7	676.9	978.7	877.6	699.0	612.6	806.0	1116.0	736.9	975.9	639.6
1/10/1986	852.7	1105.4	776.6	730.7	835.6	728.2	686.7	519.9	594.6	647.2	698.0	689.2	730.4	874.7	775.6	651.6	639.5	699.3	905.1	711.4	836.9	664.7
1/10/1987	1016.5	1345.5	1006.2	992.8	1117.1	1061.3	1036.0	835.4	873.9	995.3	1032.0	887.1	1101.5	1164.1	1017.3	745.7	737.3	1049.6	1288.7	760.5	1066.3	1176.7
1/10/1988	658.7	749.3	617.4	679.4	780.5	607.4	636.8	383.5	633.8	658.5	643.6	638.8	705.7	577.8	658.9	581.9	591.5	731.4	830.4	641.2	685.5	631.8
1/10/1989	1136.8	1327.2	1082.7	1087.8	1151.8	1073.3	1022.7	849.0	975.1	975.3	1064.3	1000.1	1211.7	1132.5	1119.2	1055.2	994.8	1163.9	1193.0	1086.3	1124.8	1167.2
1/10/1990	840.5	1238.4	871.0	848.3	962.7	828.5	992.6	690.3	747.8	751.3	851.2	815.2	909.5	1079.1	970.5	772.1	783.5	901.3	1231.4	715.3	1001.1	740.0
1/10/1991	489.2	737.8	523.0	484.9	570.0	497.3	556.6	440.7	442.0	443.5	480.5	454.8	519.6	634.6	552.5	452.7	399.0	540.4	676.9	485.5	562.4	470.6
1/10/1992	601.6	987.3	655.5	630.4	760.9	593.5	577.6	516.5	587.3	550.9	536.3	526.6	677.6	832.2	648.0	577.8	560.9	690.5	633.9	583.1	592.9	567.7
1/10/1993	865.1	1274.0	963.1	816.4	927.2	857.9	828.2	688.6	714.5	781.6	855.1	740.9	889.9	1200.3	1006.0	780.9	714.1	912.0	1148.6	790.5	1005.6	758.3
1/10/1994	404.8	843.3	517.7	453.0	590.9	522.6	528.4	406.7	417.8	358.6	481.8	449.2	418.8	669.6	631.6	407.9	358.1	586.4	713.6	442.4	674.3	424.5
1/10/1995	1264.4	1799.6	1272.1	1201.0	1513.1	1234.0	1512.7	1082.6	1313.7	1199.0	1404.0	1282.1	1366.2	1551.9	1225.7	1203.7	1199.9	1458.6	1279.2	1089.4	1215.0	1161.5
1/10/1996	754.5	1157.3	804.2	843.3	863.4	672.3	704.0	590.0	781.8	666.2	778.6	724.8	916.2	973.2	789.8	737.3	693.7	797.8	906.2	682.9	835.4	670.5
1/10/1997	1233.7	1684.3	1131.6	1191.4	1315.1	1034.4	1135.6	1012.8	1044.9	1039.6	1161.1	1120.6	1232.2	1570.8	1105.0	1114.0	1002.7	1297.6	1270.3	965.5	1274.7	947.3
1/10/1998	620.9	797.4	634.0	662.6	665.5	525.2	589.2	444.2	537.0	567.6	597.0	492.8	639.6	715.1	719.2	552.4	459.3	636.4	673.9	558.9	624.3	528.0
1/10/1999	690.2	1013.6	708.9	731.4	793.0	764.6	680.9	553.6	613.5	661.5	793.5	635.9	756.8	848.3	707.1	608.3	541.1	802.0	910.7	730.8	829.8	620.0
1/10/2000	1273.8	2003.5	1244.3	1207.9	1314.7	1140.6	1037.0	1015.6	1160.0	1046.8	1295.1	1052.5	1395.7	1710.4	1280.4	1106.7	1027.4	1280.4	1441.7	1133.2	1298.4	1074.9
1/10/2001	594.7	837.3	638.5	594.6	781.1	554.6	519.1	594.1	541.6	492.1	517.5	453.2	605.7	665.0	475.9	547.0	429.2	679.8	540.1	596.6	567.8	487.6
1/10/2002	1182.2	1045.8	861.6	669.6	770.0	1087.5	1154.2	616.8	769.3	622.0	965.9	510.0	1061.9	905.9	734.4	689.6	706.6	1009.2	704.5	888.4	837.0	789.2
1/10/2003	753.3	746.2	583.6	549.2	640.7	722.5	648.0	917.9	485.6	543.3	577.0	740.2	632.2	765.0	840.7	728.5	649.8	698.1	553.1	594.2	525.6	671.2
1/10/2004	392.6	592.9	393.8	358.7	307.9	325.6	290.4	486.2	291.9	430.9	449.8	532.4	360.9	480.2	360.3	278.4	301.6	353.9	500.5	365.7	481.8	280.9
1/10/2005	900.9	835.4	758.2	724.5	660.8	848.2	587.6	885.7	663.8	762.5	631.4	451.6	890.3	690.7	753.2	646.5	717.5	671.7	845.4	556.0	769.0	577.7
1/10/2006	742.8	739.2	996.8	964.0	746.6	713.6	651.8	532.5	907.3	665.7	715.5	706.3	796.8	858.7	741.5	635.6	645.2	825.3	1108.9	750.6	988.4	662.8
1/10/2007	557.2	406.2	602.2	567.9	660.7	511.3	452.3	798.1	504.6	501.7	793.0	667.5	557.8	479.0	623.7	525.2	460.5	600.2	749.4	543.3	689.1	473.1
1/10/2008	663.3	685.8	682.9	648.9	747.8	477.8	685.9	302.9	587.0	474.5	141.5	728.7	664.4	797.8	697.5	594.4	562.9	819.8	826.5	616.2	753.2	565.1
1/10/2009	995.8	1080.4	1017.1	984.4	1108.0	928.9	1205.8	1239.4	928.0	840.2	913.0	898.2	1105.7	1247.7	1003.1	880.4	883.9	960.4	1145.5	918.4	1018.9	864.6
1/10/2010	1278.6	396.1	1007.7	975.0	1098.0	1169.6	1191.3	1433.7	918.5	1035.3	1133.9	604.3	1093.4	467.5	994.6	872.7	1157.0	1118.9	1136.6	909.9	1011.5	1090.3
MÍNIMO	359.2	396.1	393.8	358.7	307.9	325.6	290.4	302.9	291.9	358.6	141.5	439.2	360.9	467.5	360.3	278.4	301.6	353.9	500.5	365.7	481.8	280.9
MÁXIMO	1278.6	2003.5	1272.1	1207.9	1513.1	1234.0	1512.7	1433.7	1313.7	1199.0	1404.0	1282.1	1395.7	1710.4	1280.4	1203.7	1199.9	1458.6	1441.7	1133.2	1298.4	1176.7
MÉDIA	804	1026	802	768	856	759	778	688	710	703	784	700	828	919	806	696	679	829	940	721	848	702
DESVIO PADRÃO	272.3	379.4	222.7	230.3	260.6	244.8	274.3	271.6	234.6	217.9	277.8	220.0	274.0	320.9	220.4	225.2	235.5	264.4	259.4	200.5	224.9	238.3
Altitude da estação (m)	69	335	117	82	155	106	2	18	56	71	150	39	183	241	91	24	6	120	213	50	90	25
Localização da estação	-8.960W -39.213N	-9.381W -39.827N	-9.036W -39.382N	-8.931W -39.294N	-9.422W -38.763N	-9.231W -39.197N	-9.068W -39.573N	-8.487W -39.361N	-9.457W -38.802N	-9.180W -39.137N	-9.237W -39.060N	-8.989W -39.111N	-9.064W -39.199N	-8.357W -39.767N	-9.102W -39.442N	-8.859W -39.280N	-9.123W -38.843N	-9.329W -39.998N	-8.978W -39.456N	-9.101W -39.270N	-9.014W -39.467N	-9.314W -39.179N

Nota: os valores a negrito foram estimados a partir dos valores da estação meteorológica mais próxima.

Anexo 5. Precipitação diária registada nas estações meteorológicas mais próximas a Cezaredas.

DATA	Barragem de Magos	Rego da Murta	Sobral da Abelheira	São Julião do Tojal	Areia Branca	Baleal	P Média
19.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,03
21.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,03
26.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,02
27.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,02
28.07.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29.07.2012	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
30.07.2012	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
31.07.2012	0,10	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,05
01.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,02
07.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,02
14.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15.08.2012	7,40	2,70	0,50	6,70	3,90	4,60	6,63
16.08.2012	0,60	0,10	0,00	0,20	0,00	0,00	0,15
17.08.2012	0,00	0,10	0,00	0,20	0,00	0,00	0,05
18.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,03
19.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,03
20.08.2012	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03
21.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22.08.2012	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03
23.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,02
25.08.2012	1,00	0,50	0,00	0,30	2,70	3,20	1,28
26.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,03
27.08.2012	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
28.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,02
29.08.2012	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,03
30.08.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31.08.2012	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,03
01.09.2012	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02
02.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,50	3,90	3,10	1,25
08.09.2012	0,00	0,00	0,40	0,20	0,00	0,00	0,10
09.09.2012	0,00	0,00	0,30	0,20	0,00	0,00	0,08
10.09.2012	0,00	0,00	0,20	0,10	0,00	0,00	0,05
11.09.2012	0,00	0,00	0,40	0,20	0,00	0,00	0,10
12.09.2012	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
13.09.2012	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
14.09.2012	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,05
15.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16.09.2012	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
17.09.2012	0,00	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,07
18.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,05
19.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20.09.2012	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,03
21.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22.09.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23.09.2012	4,20	7,50	9,20	15,80	4,00	3,90	7,43
24.09.2012	0,70	3,40	0,10	0,20	0,00	0,00	0,73
25.09.2012	0,40	0,10	5,30	0,10	9,50	10,10	4,25
26.09.2012	14,30	11,60	24,40	17,30	3,20	2,60	12,23
27.09.2012	5,60	0,20	2,80	1,10	0,00	0,00	1,62
28.09.2012	3,60	4,00	9,30	5,60	2,70	2,60	4,63
29.09.2012	1,40	1,30	0,10	0,10	0,00	0,00	0,48
30.09.2012	0,50	0,10	0,50	0,10	0,00	0,00	0,20
01.10.2012	0,10	0,10	0,40	0,20	0,00	0,00	0,13
02.10.2012	0,20	0,10	0,30	0,20	0,00	0,00	0,13
03.10.2012	0,10	0,00	0,60	0,30	0,00	0,00	0,17
04.10.2012	0,10	0,10	0,30	0,00	0,00	0,00	0,08
05.10.2012	0,10	0,00	0,30	0,20	0,00	0,00	0,10
06.10.2012	0,00	0,00	0,20	0,10	0,00	0,00	0,05
07.10.2012	0,10	0,10	0,70	0,20	0,00	0,00	0,18
08.10.2012	0,10	0,00	0,20	0,10	0,00	0,00	0,07
09.10.2012	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,05
10.10.2012	0,50	1,00	0,70	0,10	0,70	1,10	0,68
11.10.2012	0,10	10,80	3,50	1,10	2,40	2,20	3,35
12.10.2012	0,00	1,10	4,00	0,70	0,00	0,00	0,97
13.10.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14.10.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	4,20	1,25
15.10.2012	2,60	2,30	2,30	0,30	0,00	0,00	1,25
16.10.2012	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,30	0,08
17.10.2012	0,00	4,00	20,10	0,20	16,60	17,20	9,68
18.10.2012	18,00	21,70	29,30	0,00	23,50	21,10	18,93
19.10.2012	11,30	4,80	4,50	0,00	3,00	4,00	4,60
20.10.2012	1,70	4,30	3,50	0,00	0,00	0,00	1,58
21.10.2012	0,10	2,80	0,00	0,00	1,70	1,90	1,08

ANEXOS

DATA	Barragem de Magos	Rego da Murta	Sobral da Abelheira	São Julião do Tojal	Areia Branca	Baleal	P Média
22.10.2012	1,20	1,50	0,50	0,00	5,60	6,50	2,55
23.10.2012	0,60	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
24.10.2012	0,80	0,20	12,50	0,00	10,70	12,30	6,08
25.10.2012	5,30	1,80	30,00	0,00	33,10	34,50	17,45
26.10.2012	4,00	8,30	23,90	0,00	12,10	13,70	10,33
27.10.2012	1,90	5,80	0,90	0,00	0,00	0,00	1,43
28.10.2012	0,70	2,90	0,10	0,00	0,00	0,00	0,62
29.10.2012	0,00	0,70	0,00	0,00	1,70	2,10	0,75
30.10.2012	12,50	2,30	12,30	0,00	8,20	10,10	7,57
31.10.2012	0,10	3,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,63
01.11.2012	0,10	1,80	0,20	0,00	0,40	0,90	0,57
02.11.2012	0,10	1,50	0,70	0,00	8,20	6,20	2,78
03.11.2012	6,40	1,60	8,10	0,00	9,30	7,30	5,45
04.11.2012	2,50	1,90	21,30	0,00	14,50	15,20	9,23
05.11.2012	2,70	5,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,33
06.11.2012	2,30	2,70	0,10	0,00	0,00	0,00	0,85
07.11.2012	3,30	1,60	0,00	0,00	11,30	9,40	4,27
08.11.2012	2,70	3,70	3,80	0,00	0,00	0,00	1,70
09.11.2012	1,30	3,70	2,00	0,00	1,40	1,50	1,65
10.11.2012	1,70	3,20	4,60	0,00	3,30	3,90	2,78
11.11.2012	1,80	1,50	12,10	0,00	1,90	2,70	3,33
12.11.2012	1,20	1,60	1,80	0,00	0,00	0,00	0,77
13.11.2012	0,50	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
14.11.2012	0,30	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
15.11.2012	0,30	1,40	0,00	0,00	4,60	3,90	1,70
16.11.2012	0,40	1,30	10,60	0,00	13,00	12,50	6,30
17.11.2012	0,30	2,30	18,60	0,00	9,50	4,50	5,87
18.11.2012	0,30	3,10	1,40	0,00	0,00	0,00	0,80
19.11.2012	0,20	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
20.11.2012	0,30	2,20	0,00	0,00	7,40	9,30	3,20
21.11.2012	0,20	1,50	14,00	0,00	6,40	4,80	4,48
22.11.2012	0,20	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
23.11.2012	0,20	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
24.11.2012	0,30	0,75	6,60	0,00	9,80	7,60	4,18
25.11.2012	0,20	0,68	55,90	0,00	17,80	12,50	14,51
26.11.2012	0,10	0,60	0,70	0,00	0,90	1,10	0,57
27.11.2012	0,20	0,68	3,60	0,00	2,60	3,90	1,83
28.11.2012	0,20	0,68	5,60	0,00	0,80	1,40	1,45
29.11.2012	0,10	0,60	5,00	0,00	0,00	0,00	0,95
30.11.2012	0,00	0,52	17,60	19,70	13,10	16,60	11,25
01.12.2012	0,10	0,60	14,20	8,80	0,00	0,00	3,95
02.12.2012	0,10	0,60	0,20	0,10	0,00	0,00	0,17
03.12.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04.12.2012	1,95	2,29	2,08	0,90	2,50	3,00	2,12
05.12.2012	2,96	3,00	0,64	1,40	0,00	0,00	1,33
06.12.2012	0,80	1,48	9,14	0,40	22,00	17,70	8,59
07.12.2012	14,30	10,98	5,73	36,90	10,30	10,60	14,80
08.12.2012	0,20	1,06	0,64	0,70	0,00	0,00	0,43
09.12.2012	0,20	1,06	0,64	0,30	0,00	0,00	0,37
10.12.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.12.2012	0,10	0,99	0,64	0,20	0,00	0,00	0,32
12.12.2012	0,00	0,00	0,64	0,10	0,00	0,00	0,12
13.12.2012	0,10	0,99	1,26	1,30	0,90	1,30	0,98
14.12.2012	0,80	1,48	13,85	5,20	27,10	27,50	12,65
15.12.2012	13,70	10,56	0,93	20,00	0,60	0,60	7,73
16.12.2012	0,00	0,00	0,83	0,00	0,40	0,40	0,27
17.12.2012	2,20	2,47	2,08	4,60	2,00	3,00	2,72
18.12.2012	0,80	1,48	0,64	1,70	0,00	0,00	0,77
19.12.2012	0,80	1,48	1,31	0,20	1,20	1,40	1,07
20.12.2012	0,60	1,34	2,27	1,10	3,00	3,40	1,95
21.12.2012	0,40	1,20	0,64	0,10	0,00	0,00	0,39
22.12.2012	0,10	0,99	0,64	0,00	0,00	0,00	0,29
23.12.2012	0,10	0,99	0,64	0,10	0,00	0,00	0,30
24.12.2012	0,10	0,99	2,61	0,00	3,70	4,10	1,92
25.12.2012	0,50	1,27	3,42	0,30	5,30	5,80	2,77
26.12.2012	0,90	1,55	0,64	0,20	0,00	0,00	0,55
27.12.2012	0,60	1,34	0,64	0,30	0,00	0,00	0,48
28.12.2012	0,20	1,06	0,64	1,70	0,00	0,00	0,60
29.12.2012	0,20	1,06	3,95	0,90	6,40	6,90	3,24
30.12.2012	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,11
31.12.2012	0,00	0,00	5,44	5,80	10,70	10,00	5,32
01.01.2013	0,00	0,00	0,93	0,10	0,40	0,60	0,34
02.01.2013	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,02
03.01.2013	0,80	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
04.01.2013	0,90	1,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41
05.01.2013	0,60	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
06.01.2013	0,80	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
07.01.2013	0,80	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
08.01.2013	0,60	1,34	0,00	1,50	0,00	0,00	0,57
09.01.2013	0,60	1,34	2,80	1,60	5,00	4,50	2,64
10.01.2013	0,40	1,20	2,03	1,50	2,60	2,90	1,77
11.01.2013	0,20	1,06	1,22	0,90	1,10	1,20	0,95
12.01.2013	0,10	0,99	1,41	1,80	1,40	1,60	1,22
13.01.2013	1,10	1,69	2,32	0,90	2,70	3,50	2,04
14.01.2013	0,70	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
15.01.2013	0,30	1,13	0,64	0,20	0,00	0,00	0,38
16.01.2013	0,30	1,13	6,55	7,00	11,20	12,30	6,41
17.01.2013	0,10	0,99	1,17	1,00	1,30	1,10	0,94

Anexo 6. Valores padronizados do teor de nutrientes verificados nas águas para análise estatística.

Cód. Amostra	Na	K	Mg	Ca	P	N	pH	CE
A1	1,1709	0,0685	1,2296	1,5379	1,5115	1,6341	-1,3306	1,4871
B1	1,5522	2,9087	1,9014	1,1610	0,5988	0,1869	-0,8935	1,7458
C1	0,8830	0,6095	-0,0880	-0,8250	-1,0001	-1,2603	-0,1360	-0,2056
A2	0,4456	-0,3409	0,5159	0,7563	0,9111	0,9105	-0,7770	0,5055
B2	1,1709	0,3255	1,2027	1,2783	0,7895	-0,1749	-1,1849	1,0343
C2	-0,6516	-0,2757	-0,8516	-1,1410	-0,9566	-1,2603	0,6799	-0,9471
A3	-0,7395	-0,5499	-0,4224	0,0040	-0,5482	-0,1749	-0,5439	-0,3247
B3	-0,0898	-0,3421	0,0847	0,3753	0,7025	-0,8985	0,0388	0,2608
C3	-0,6890	-0,6212	-1,0133	-1,1748	-1,2241	0,5487	1,8454	-1,1004
A4	-1,3598	-0,5720	-0,8836	-0,5333	-0,8439	0,9105	0,8547	-0,8356
B4	-1,1053	-0,6040	-0,7139	-0,3597	1,0251	-1,2603	0,2428	-0,6081
C4	-0,5878	-0,6065	-0,9614	-1,0788	-0,9656	0,8382	1,2043	-1,0118